

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NOS DESLIZAMENTOS DE TERRA OCORRIDOS EM 2015 NA COMUNIDADE DE LAGOA ENCANTADA (IBURA – RECIFE)**

*Cristiane Ribeiro de Melo<sup>1</sup>; Paulo Abadie Guedes<sup>2</sup>; Samuel França Amorim<sup>3</sup>; Fellipe Henrique  
Borba Alves<sup>4</sup> & José Almir Cirilo<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Estudos mostram que, na localidade de Lagoa Encantada, bairro do Ibura/Recife, com chuva acumulada maior que 60mm em 72h, registrou-se 75% dos deslizamentos na Região Sul da Região Metropolitana do Recife (RMR), para o ano de 2009. Este trabalho teve como objetivo avaliar o balanço hídrico no solo na comunidade, utilizando o modelo computacional Hydrus-1D. O programa tem como entrada a precipitação e os parâmetros hidráulicos do solo, que foi classificado pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS). Os resultados mostram que a precipitação acumulada, nos dias que antecedem os deslizamentos, são de extrema importância na previsão de desastres; e que acidentes ocorridos, fora do período de inverno, podem ser consequência da fragilização do solo causada pela incidência de águas servidas. Conclui-se que é possível avaliar a influência da infiltração na propensão aos escorregamentos, observando quantitativamente o volume infiltrado que contribui para a desestabilização do solo.

**ABSTRACT** – Studies show that, in the locality of Lagoa Encantada, with accumulated rainfall greater than 60mm in 72 hours, 75% of landslides were recorded in the southern region of the Metropolitan Region of Recife (RMR), for the year 2009. This work aimed to evaluate the water balance in the soil in the community, using the Hydrus-1D computational model. The program has as input the precipitation and hydraulic parameters of the soil, which was classified by the Unified Soil Classification System (USCS). The results show that the accumulated precipitation, in the days before the landslides, is extremely important in the prediction of disasters; and that accidents that occur outside the winter period may be a consequence of the weakening of the soil, caused by the incidence of wastewater. It was concluded that it is possible to evaluate the influence of infiltration on landslide susceptibility, by quantitatively observing the infiltrated volume that contributes to soil destabilization.

**Palavras-Chave** – Precipitação, Balanço Hídrico do Solo, Hydrus-1D.

1) Serviço Geológico do Brasil. Rua Escritor Souza Barros, 1001 - Cabanga Recife, PE, Brasil. e-mail: cristiane.melo@cprm.gov.br

2) Instituto Federal de Pernambuco. Av. Prof. Luís Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. e-mail: paulo.guedes@recife.ifpe.edu.br.

3) Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. e-mail: samuel\_amorim@msn.com.

4) Agência Pernambucana de Águas e Clima. Av. Cruz Cabugá, 1111 - Santo Amaro, Recife, PE, Brasil. e-mail: fellipe.alves@apac.pe.gov.br

5) Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Nova, Caruaru, PE, Brasil. e-mail: almir.cirilo@terra.com.br.

## 1 – INTRODUÇÃO

De acordo com o censo de 2010, Recife/PE ocupa a 5ª posição entre as cidades brasileiras com maior número de habitantes em áreas com propensão a deslizamentos de terra. Entender as áreas de risco e sua dimensão é o primeiro passo para a tomada de decisões (Bandeira & Coutinho, 2015).

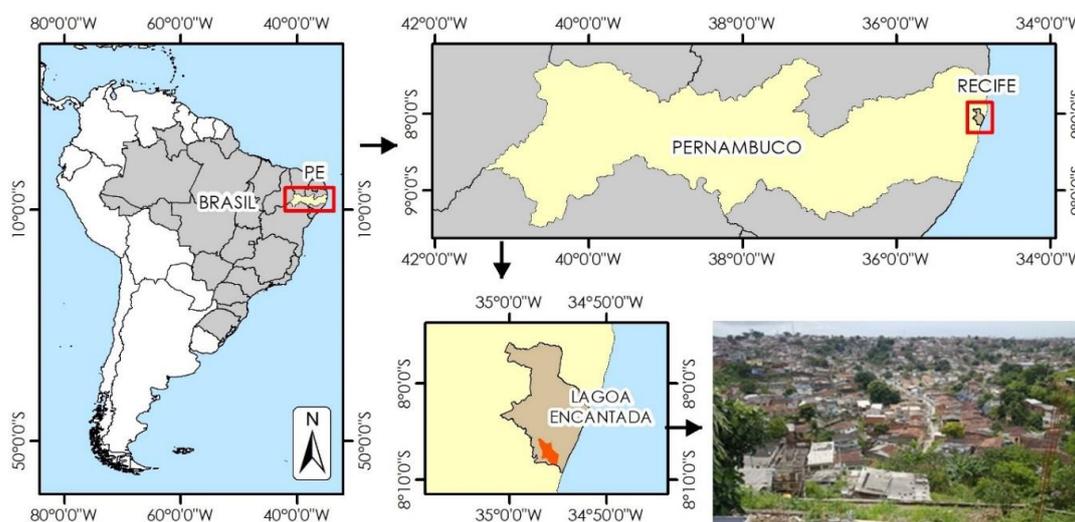
Para evitar catástrofes causadas por movimentos de massa é necessário avaliar tecnicamente as áreas suscetíveis aos deslizamentos e estudar as áreas previamente deslizadas. Lima *et al.* (2015) ressalta que compreender como ocorrem os eventos de deslizamento auxilia as decisões dos gestores e fornecem informações necessárias para a adoção de medidas preventivas.

O presente trabalho teve como objetivo entender os processos de infiltração e acumulação de água (balanço hídrico no solo), causadores de deslizamentos ocorridos no ano de 2015 na comunidade de Lagoa Encantada. A localidade foi escolhida para avaliação dos índices de precipitação acumulada causadores de movimentos de massa, utilizando o modelo computacional Hydrus-1D, por ser um dos lugares com maior incidência de deslizamentos na Região Metropolitana do Recife - RMR.

## 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O bairro do Ibura está localizado em uma região com morros íngremes, ocupados a partir da segunda metade do século XX (Miranda, 2018). A Figura 1 apresenta a localização da área estudada e ilustra a vista de um dos pontos mais altos da comunidade.

Figura 1 – Localização da Comunidade de Lagoa Encantada (Fonte: Melo, 2021).



No bairro, as frequentes ocorrências de deslizamento são consequência do tipo de solo e da precipitação intensa no inverno, em conjunto com as intervenções humanas e moradias construídas, sem critérios técnicos. Esta condição torna a região mais vulnerável e propícia a deslizamentos e acidentes, quando associada a grandes densidades populacionais que elevam o risco na área.

Lagoa Encantada está localizada em área de Formação Barreiras, que apresenta grande potencial para movimentos de massa. Quando sujeita à precipitação, a formação torna-se mais frágil, pela pouca coesão das partículas do solo, aumentando o risco de deslizamentos.

Historicamente, acidentes com vítimas fatais, frequentemente registrados no inverno pela imprensa local, faziam parte da realidade da comunidade. A Tabela 1 apresenta os registros de alguns deslizamentos, apresentados no cadastro da Secretaria Executiva de Defesa Civil (SEDEC/Recife) e divulgados pela mídia para o ano de 2015.

Tabela 1 – Registro de deslizamentos em Lagoa Encantada no ano de 2015.

Data do deslizamento	SEDEC Recife	Notícias / Mídia	Endereço
19/02/2015	X		Av João Benigno de Vasconcelos, 1025
06/03/2015		X	Av João Benigno de Vasconcelos
29/06/2015	X		Av. Rio Largo, 68
03/07/2015	X		1º Trav César Montezuma, 55

Para diminuir o número de ocorrências na área e auxiliar a comunidade, várias ações têm sido tomadas pela SEDEC/Recife e pelo poder público, buscando reduzir a susceptibilidade da região ao deslizamento de encostas. A maioria dos deslizamentos de terra na região ocorreu até o início de 2016, quando então decaíram.

Em maio de 2015, foram instaladas Plataformas de Coleta de Dados (PCD) na comunidade e em seu entorno. Dessa forma, a localidade passou a ter a precipitação monitorada através das estações automáticas Ibura e Alto da Bela Vista, ambas operadas pela APAC.

Ações preventivas implementadas pelas instituições responsáveis e trabalhos de sensibilização da comunidade também têm contribuído para a redução de desastres. Acredita-se que a ação preventiva com conscientização da população, colocação de lonas plásticas, limpeza de canaletas, entre outros, tenham atuado para a diminuição dos eventos.

### 3 – SOFTWARE HYDRUS-1D

O modelo Hydrus-1D (versão 4.17) resolve, numericamente, a Equação de Richards para o fluxo de água variável (Šimůnek *et al.*, 2013), oferecendo a opção de quatro modelos hidráulicos analíticos que descrevem o deslocamento e a retenção de água no solo, em função da condutividade hidráulica.

O programa pode analisar o movimento de água, em meios porosos insaturados, parcialmente saturados ou totalmente saturados. Entretanto, a versão livre tem a limitação de desconsiderar a topografia. A desconsideração da declividade do terreno, que contribuiria para a diminuição da infiltração e aumento do escoamento, traz, como consequência, uma infiltração simulada que pode apresentar-se superestimada.

Os parâmetros hidráulicos do solo devem ser informados ao modelo, como dados de entrada, com base no catálogo de solos fornecido ou através do módulo ROSETTA Lite (Schaap *et al.*, 2001), que usa a distribuição real de tamanho de grão do solo da área estudada.

Entretanto, o uso de ROSETTA Lite é indicado apenas para zonas de clima temperado do hemisfério norte. Para outras zonas climáticas e, portanto, outros processos pedogênicos, pode levar a previsões imprecisas. Portanto, não foi empregado neste trabalho.

## 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação do balanço hídrico no solo foi realizada para simular o volume acumulado por infiltração, após um evento de chuva que possa ter contribuído para um deslizamento. Para tal, foi utilizado o modelo de infiltração Hydrus-1D, programa de acesso livre que possui pacotes para simulação de movimento unidimensional de água.

### 4.1 – Dados de precipitação

No bairro do Ibura e adjacências não existem PCDs com registros horários de precipitação anteriores a maio/2015. Para se poder observar a acumulação gradativa da água no solo, anterior ao evento de deslizamento, era necessária uma série de dados de precipitação para todo o ano de 2015.

Para tal, foram utilizados os dados da estação pluviométrica CPRM/Recife (ANA,2020), pertencente à Rede Hidrometeorológica Nacional, localizada a 11km de Lagoa Encantada. Dessa forma, a análise da infiltração foi realizada de forma diária (acumulado de 24 horas).

Entretanto, considerando a distância entre as estações pluviométricas aqui apresentadas, foi realizada uma análise de regressão linear, entre os totais mensais das estações Recife e Alto da Bela Vista, localizada na comunidade estudada. A verificação estatística foi utilizada para conferir se há compatibilidade, entre os valores observados, nas duas estações.

Segundo ANA (2012), uma boa relação entre as estações pluviométricas ocorre quando o coeficiente de correlação é igual ou superior a 0,8; a distância entre as mesmas seja de, no máximo, 200km; e altitudes semelhantes entre as estações. A estação CPRM/Recife atende ao critério.

### 4.2 – Caracterização do solo

O tipo de solo foi determinado por prospecção com trado manual e classificação pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS). O solo encontrado foi classificado como sendo do tipo SC (areia argilosa).

Como a camada superficial do solo está sujeita a transformações causadas pelo clima, exposição ao sol e outros agentes, uma fina camada impermeável ou semipermeável é formada acima do solo. Assim, para melhor representar as condições reais, considerou-se que o solo estava dividido em duas camadas: 1) uma camada inicial de solo arenoso argilo-franco de 0cm a 12cm de profundidade; e 2) uma segunda camada de 13cm a 200cm de solo arenoso argiloso.

A camada mais fina foi identificada, visualmente, por um profissional experiente da área de geotecnia, durante a visita ao local. A profundidade das duas camadas, que representam o perfil do solo, totalizou 2 metros da superfície de ruptura.

A caracterização do solo pelo sistema USCS foi necessária para a determinação dos parâmetros hidráulicos do solo, através de similaridade em relação às opções oferecidas no Catálogo de Solos do programa. Infelizmente, a pouca adequação do módulo ROSETTA Lite ao tipo de solo encontrado no hemisfério sul impediu o uso das características encontradas no local. Não foram realizados ensaios de granulometria por sedimentação para determinar a porcentagem de partículas de argila e silte.

### 4.3 – Metodologia Hydrus-1D

Para entrada no programa, avaliou-se o volume infiltrado a partir de 1 de janeiro de cada ano, até 30 de setembro do mesmo ano, seguindo a mesma premissa apresentada por Gusmão Filho (1997). Ou seja, a avaliação tem início no período seco, passando pelo trimestre mais úmido, até à recessão das chuvas. O período corresponde a 250 dias consecutivos de observação.

O longo período utilizado para a simulação também serve para “aquecimento” do estado interno da memória do programa durante o período sem chuvas. Assim, torna-se possível uma melhor análise dos resultados durante o período chuvoso, onde normalmente ocorrem os deslizamentos.

Os dados de precipitação que foram utilizados são da estação pluviométrica CPRM/Recife, acumulado de 24 horas, localizada a 11km de Lagoa Encantada, após teste de correlação com a PCD Alto da Bela Vista localizada na comunidade. A regressão linear simples realizada entre os totais mensais das estações, para o período de 2015 a 2019, mostrou um ( $R^2$ ) coeficiente de correlação de 90%.

Considerando a utilização de um posto pluviométrico localizado a 10km uma hipótese aproximada, pela ausência de registros de precipitação em postos mais próximos da área de estudo, a premissa do uso da estação pluviométrica Recife é reforçada através do mapa de isoietas anuais médias de 1977 a 2006 (CPRM, 2021) para a cidade do Recife.

Foi realizada a simulação, utilizando-se o módulo padrão do programa Hydrus-1D para calcular a infiltração de água em um perfil de duas camadas do solo. A estimativa de recarga de água subterrânea não foi considerada nos cálculos porque, durante a prospecção, não foi encontrada a presença de aquífero. Foi assumido, para o modelo, que o lençol freático estava localizado bem abaixo do fundo do domínio do solo e, portanto, não afetaria os processos de escoamento no perfil de solo adotado.

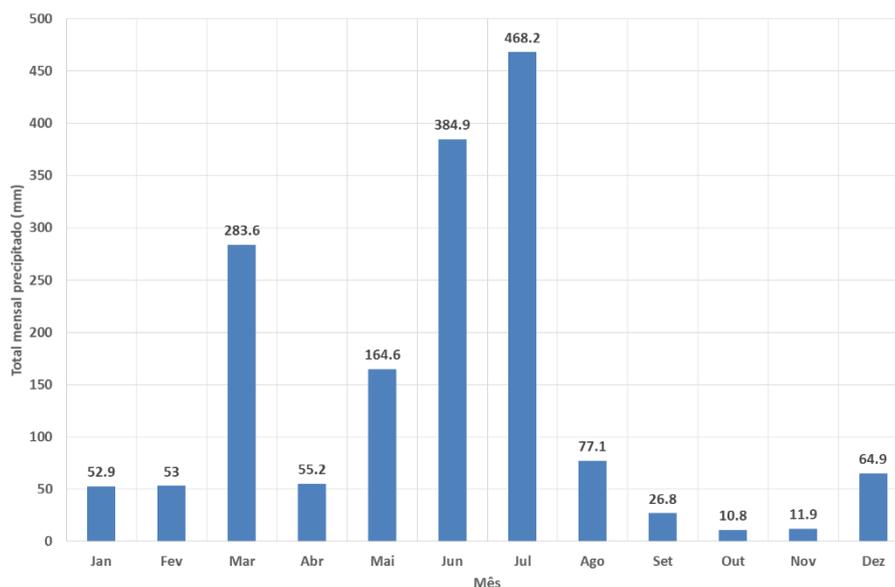
Considerando que o solo encontrado, durante a prospecção, foi classificado pela USCS como do tipo SC (areia argilosa), utilizou-se a opção de Areia Argilosa do catálogo de solos, como a melhor alternativa para representar a área estudada.

O modelo hidráulico analítico escolhido, para avaliar a infiltração na área piloto, foi o de van Genuchten (1980). Segundo Melo & Louzada (2013), dentre os vários modelos que procuram representar analiticamente a condutividade hidráulica em relação à umidade, ou com o potencial matricial, o modelo é o mais amplamente utilizado. Provavelmente é a melhor representação da condutividade hidráulica, próximo à condição de saturação.

## 5 – RESULTADOS

De acordo com a série de dados da estação pluviométrica CPRM/Recife (Figura 2), o trimestre mais chuvoso costuma ocorrer entre os meses de maio e julho, período em que se concentra, em média, 50% da precipitação anual. O ano de 2015 apresenta total anual precipitado de 1.654mm, com os escorregamentos ocorridos nos dias 19 de fevereiro, 6 de março, 29 de junho e 3 de julho.

Figura 2 – Precipitação mensal para os anos de 2015



Em Lagoa Encantada, os deslizamentos ocorridos no inverno são mais comuns, por se tratar de um período de intensa precipitação. O total precipitado, no mês de março de 2015, registrou volume 40% maior do que a média esperada para o mês, não havendo registro de precipitação acumulada com valor acima do esperado que pudesse auxiliar no deslizamentos ocorridos em fevereiro e março.

A Figura 3 ilustra o balanço hídrico no solo para o ano 2015, com ênfase para as datas dos deslizamentos ocorridos. O volume infiltrado apresentado é resultado do somatório das infiltrações no solo1 (Sandy Clay Loam), com profundidade de 0 a 12cm, e solo2 (Loamy Sandy), com profundidade de 13 a 200cm.

A Figura 4 apresenta o volume infiltrado acumulado a partir de 1 de janeiro. Os deslizamentos ocorridos em junho e julho aconteceram em um período de precipitação intensa na região, além do acúmulo ocorrido no ano, até o dia dos eventos.

Figura 3 – Balanço hídrico no solo para o ano de 2015.

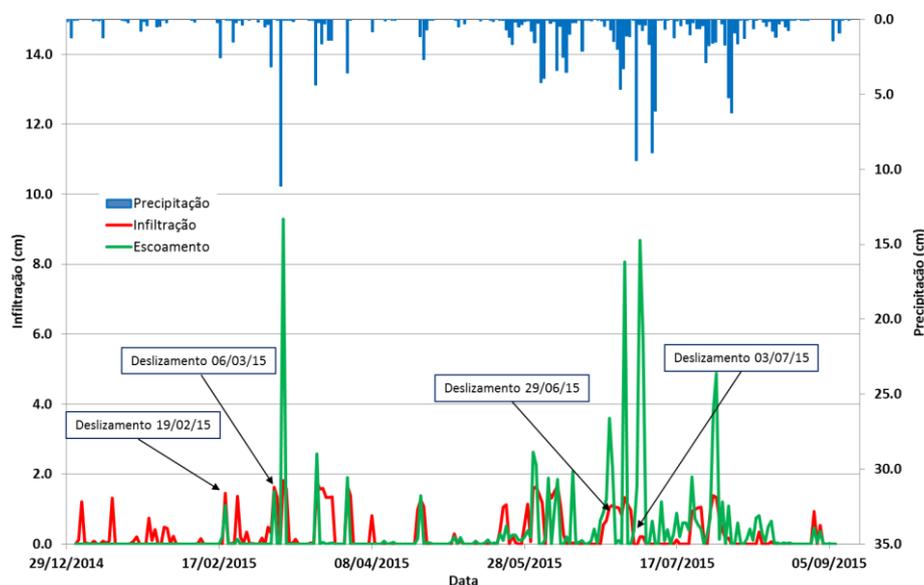
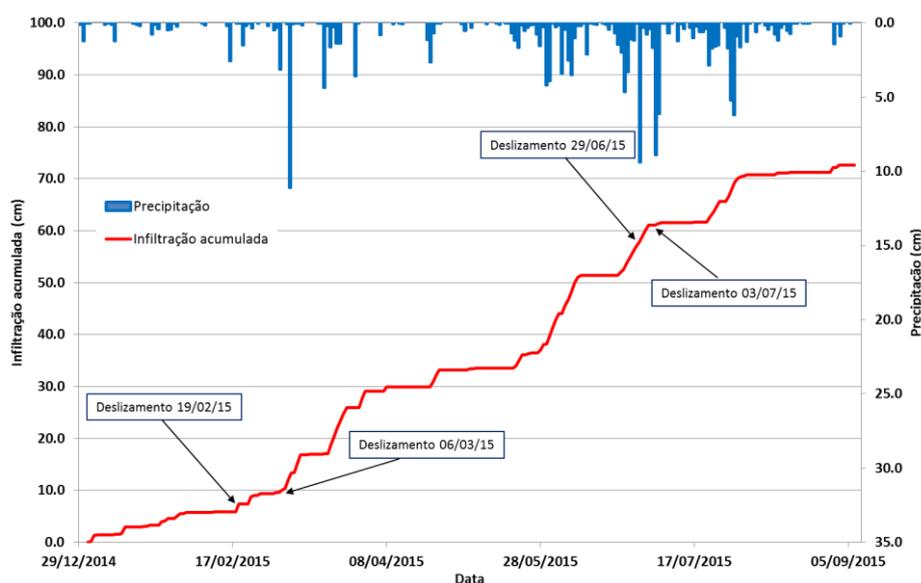


Figura 4 – Infiltração acumulada no solo em 2015.



As condições existentes no solo no dia dos deslizamentos são apresentadas na Tabela 2. Os deslizamentos de fevereiro e março a princípio não são justificáveis, se levarmos apenas a precipitação em consideração. O volume de água acumulado no solo até os dias de deslizamento parecem insuficientes para justificar os eventos. Dessa forma, acredita-se que a precipitação diária combinada com influências externas possam ter contribuído para a ocorrência dos deslizamentos. As influências externas podem ser, por exemplo, a eventual ruptura do sistema de abastecimento de água e/ou ruptura de possíveis ligações clandestinas.

Tabela 2 – Balanço hídrico no solo no dia do deslizamento em 2015

Data do deslizamento	Precipitação no dia do deslizamento (mm)	Acumulado de 01 de janeiro até o dia do deslizamento			% Infiltrado em relação à precipitação
		Precipitação (mm)	Infiltração (mm)	Escoamento (mm)	
19/02/2015	0,0	84,0	73,0	13,0	87
06/03/2015	31,4	147,0	104,0	14,0	71
29/06/2015	94,0	991,0	577,0	435,0	58
03/07/2015	16,4	1.022,0	611,0	519,0	60

Os valores da Tabela 2 mostram que o acumulado da precipitação e do volume infiltrado nos dias 19/02/15 e 06/03/15 são inferiores aos registrados para os outros eventos. Tal resultado reforça a premissa da presença de um agente externo, nos deslizamentos ocorridos, fora do período chuvoso em 2015.

## 6 – CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostraram que os deslizamentos ocorreram em situações de precipitação acumulada maior que 900,0 mm de chuva, a partir de 01 de janeiro do ano de 2015, e infiltração de aproximadamente 60% dessa precipitação.

Ao avaliar a infiltração na camada até 2 mestros de profundidade, observa-se que os escorregamentos ocorreram no período chuvoso quando a infiltração acumulada, calculada pelo programa Hydrus-1D, atingiu o valor médio de 600,0 mm. Esta informação ainda não pode ser considerada conclusiva, pois foi obtida com poucos dados.

Conclui-se que a avaliação apresentada neste trabalho pode ser promissora para auxiliar na avaliação da propensão ao deslizamento, por advir de uma estratégia prática para melhor compreender as causas dos deslizamentos por infiltração, sendo necessárias mais pesquisas no futuro.

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. (2012). *Orientações para Consistência de Dados Pluviométricos. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica*. Brasília, DF. Versão Julho, 2012.
- ANA. Agência Nacional de Águas. (2020). *Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)*. Acesso aos dados de chuva através do site: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. 2020.
- BANDEIRA, A. P. N.; COUTINHO, R. Q. (2015). *Critical Rainfall Parameters: Proposed Landslide Warning System for the Metropolitan Region of Recife, PE, Brazil*. *Soils and Rocks*, 38 (1): 27-48 p.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (2021) Acesso ao site: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15030> em fevereiro de 2021.
- GUSMÃO FILHO, J. A. (1997). *Chuva e Deslizamento nas Encostas Ocupadas*. In: Workshop “A Meteorologia e os Recursos Hídricos Aplicados à Defesa Civil”, Recife.
- LIMA, D. L. DE S.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. de H. (2015). *Agentes condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa na vertente úmida do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil*. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 8(4): 1142-1157p. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150059>
- MELO, C. R. (2021). *Utilização de Informações Espaciais de Alta Resolução para Análise de Suscetibilidade de Deslizamento sob Situação de Precipitações Intensas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22181>.
- MELO, T. M.; LOUZADA, J. A. (2013). *Avaliação de Diferentes Formulações do Modelo de Condutividade Hidráulica de Van Genuchten-Mualem*. *Irriga*. 18(4): 730-742p. <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n4p730>.
- MIRANDA, L. (2018). *Desenvolvimento Humano e Habitação no Recife. Desenvolvimento Humano no Recife. Atlas Municipal*. Acesso ao site: <https://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/pnud2006/doc/analiticos/Desenvolvimento%20Humano%20e%20Habita%C3%A7%C3%A3o%20no%20Recife.pdf> em janeiro de 2018.
- SCHAAP, M. G., LEIJ, F. J., VAN GENUCHTEN, M. TH. (2001). *Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions*. *Journal of Hydrology*. 251 (3-4): 163-176 p. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00466-8)
- ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; SAITO H.; SAKAI, M.; VAN GENUCHTEN, M. TH. (2013). *The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media*. Version 4.17. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, USA. Versão, June 2013.
- VAN GENUCHTEN, M. T. (1980). *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. *Soil Sci. Soc.* 44: 892–898 p.