

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE MODELOS DE ALERTA ATRELADOS A SENSORES DE UMIDADE NO MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RISCO NA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE – PE

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ALERT MODELS LINKED TO HUMIDITY SENSORS IN MONITORING RISK AREAS IN THE METROPOLITAN REGION OF RECIFE – PE

Hagamenon Gomes dos Santos Filho¹; Athos Murilo Queiroz Araujo¹; Raimundo Paulo da Silva Júnior¹; Carlos Eduardo de Sousa Carvalho¹; José Carlos Nogueira Júnior¹

¹Faculdade de Integração do Sertão – FIS, Serra Talhada-PE, Brasil.

Resumo

Sensores capazes de captar deformação de taludes desenvolvidos para monitorar perfis de deformação do solo em alta frequência surgem como um ponto inicial para os impactos decorrentes da pressão antrópica nas grandes cidades, derivada da intensa expansão urbana e do desenvolvimento de atividades econômicas de grande escala que deflagrou processos de desarranjo ocupacional do solo. Como também, segregação sócio-espacial e ocupação de áreas de risco as quais potencializaram a ocorrência de desastres envolvendo perdas humanas e materiais. Com o desenvolvimento e implementação de medidas não estruturais como; Sistemas de Alerta Antecipado (SAA), integradas com as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), trazem uma solução viável de desenvolvimento com potencial à diminuição de tais desastres. A variação da umidade do solo pode provocar o aumento da poropressão e do peso do solo sobre o plano de deslizamento, considerados assim, indicadores de risco em taludes. Este projeto tem como objetivo implementar modelos de aplicabilidade de RSSF utilizando sensores de umidade para monitoramento e fornecer dados que possam definir pontos que antecipem os deslizamentos em taludes na Região Metropolitana do Recife. O projeto constará com ações experimentais (caracterização geológica das áreas de risco, instalação de estacas associadas a sensores de umidade e instalação de módulos centrais de processamento), em laboratório (determinação de parâmetros e índices físicos do solo) e desenvolvimento de implementações numéricas baseadas em Machine Learning. Por meio deste sistema almeja-se contribuir com a proposição de soluções de drenagem natural para áreas de vulnerabilidade.

Palavras-chave: Áreas de risco. Deformação de taludes. Monitoramento de perfil de deformação.

Abstract

Sensors capable of capturing slope deformation developed to monitor high-frequency soil deformation profiles appear as a starting point for the impacts resulting from human pressure in large cities, derived from intense urban expansion and the development of large-scale economic activities that triggered processes of occupational soil disruption. As well as socio-spatial segregation and occupation of risk areas which increased the occurrence of disasters involving human and material losses. With the development and implementation of non-structural measures such as; Early Warning Systems (ASA), integrated with Wireless Sensor Networks (WSN), bring a viable development solution with the potential to reduce such disasters. Variations in soil moisture can cause an increase in pore pressure and soil weight on the landslide plane, thus considered risk indicators on slopes. This project aims to implement WSN applicability models using humidity sensors for monitoring and providing data that can define points that anticipate landslides on slopes in the Metropolitan Region of Recife. The project will consist of experimental actions (geological characterization of risk areas, installation of piles associated with humidity sensors and installation of central processing modules), in the laboratory (determination of parameters and physical indices of the soil) and development of numerical implementations based on Machine Learning. Through this system, the aim is to contribute to the proposition of natural drainage solutions for vulnerable areas.

Keywords: Risk areas. Slope deformation. Deformation profile monitoring.

Introdução

Em tempos de eventos climáticos extremos, as regiões de grandes concentrações de pessoas têm sofrido os impactos decorrentes da ação humana, derivada do crescimento urbano e do desenvolvimento de atividades econômicas de grande escala, que contribuíram com a alteração acelerada dos espaços geográficos (HAFSI; AGUILAR-BECERRA; MARTÍNEZ, 2020). Esse aumento deflagrou um processo de ocupação caótica do solo e cooperou com a segregação sócio espacial nas cidades, tendo como principal reflexo a ocupação de áreas periféricas sem acesso à infraestrutura apropriada e a ocupação de áreas de risco (BRAGA; PELOGGIA; OLIVEIRA, 2016).

Ainda que qualquer encosta possa sofrer com fenômenos geológicos, a remoção da vegetação natural, associada à execução de cortes e aterros instáveis, a deposição de lixo, a insuficiência de sistemas de drenagem superficial e de esgotamento sanitário potencializam a ocorrência de desastres e acidentes (OTERO, 2020).

A implementação de ações não estruturais, como políticas urbanas, legislações, planos de defesa civil e educação demonstram resultados satisfatórios na prevenção de desastres, ao passo que são menos custosas se comparados às estruturais. Integrante destas medidas, os Sistemas de Alerta Antecipado (SAA) se constituem através de quatro etapas essenciais: i) identificação do risco, ii) percepção, monitoramento, análise e previsão de ocorrência de desastres e avaliação das possíveis consequências, iii) difusão e comunicação de alerta e iv) preparo de resposta imediata frente à emissão de alertas (UNISDR, 2022).

Deste modo, os sistemas de monitoramento automatizados são capazes de proporcionar informações de alta precisão por meio de procedimentos rápidos e eficientes, podendo ainda processar, armazenar e distribuir informações coletadas, que podem ser integrados aos SAA (YIN et al., 2010). O uso de informações automatizadas em sistemas de alerta antecipado justifica-se, ainda, em função da segurança. Segundo Askarinejad e Springman (2018), os sinais predecessores de uma movimentação de massa podem ser identificados em um tempo limitado anterior à ruptura, enquanto as movimentações ocorrem em espaços de tempo curtos, com velocidades elevadas.

As RSSF podem ser definidas como uma malha de sensores com capacidade de capturar, processar e transmitir dados de campo em tempo real e com elevada precisão (RUIZ, 2003). Logo, essas redes são capazes de avaliar condicionantes que possam identificar esses deflagrantes de movimentos de massa, e que são decisivas à modelagem para antever o momento de ruptura, tais que quando devidamente determinadas contribui com o gerenciamento de riscos, evitando perdas humanas e materiais (FREDERICO et al., 2012).

Há diferentes mecanismos de gatilho que cooperaram com um deslizamento de terra, dentre eles, alguns relacionam à variação de água no solo. Um destes fatores é o acréscimo da umidade, capaz de elevar pressão de água nos poros, conseqüentemente sua força cisalhante, ou seja, o aumento da poropressão pode ocorrer em função da incidência de chuvas intensas, elevação no nível freático, como também pela existência de falhas (vazamentos) na rede de abastecimento e escoto existente.

A tensão resistiva pode ser definida através de um conjunto de parâmetros do solo, como coesão, ângulo de atrito, densidade da água, distância entre a cota superior da água para com o plano de deslizamento, peso unitário do solo na condição saturada e não saturada e, por fim, a distância entre a superfície do solo e o plano de ruptura. Segundo Sidle e Ochiai (2006), o fator de segurança pode ser obtido através da razão entre a tensão resistiva do solo e a tensão de cisalhamento. Determinadas as características físicas do solo por meio de modelagem, o processamento de dados de umidade resultará na obtenção das cotas de nível de água presentes no talude, parâmetro este, importante à determinação das tensões resistivas e de cisalhamento, bases preliminares essenciais ao monitoramento da variação do fator de segurança. Nesse contexto, o presente trabalho propõe o estudo sobre a utilização de RSSF, baseadas em aferição de umidade, para previsão de escorregamentos em setores de risco na Região Metropolitana do

Recife – PE, e proposições de soluções de drenagem para alívio de tensões confinantes nestas áreas, bem como, modelos que consigam antecipar a informação da movimentação do maciço.

Condições Gerais

O estudo foi desenvolvido em quatro setores, delimitados por meio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2019), na Região Metropolitana do Recife – Pernambuco (Figura 1). A região possuía relevo acidentado e áreas de risco geológico-geotécnico.

Serão realizados ensaios de caracterização geotécnica por meio de Sondagem à Percussão, coletas de amostras indeformadas, considerando a geomorfologia da região. Como os principais parâmetros para avaliação da tensão cisalhante são a coesão e o coeficiente de atrito do solo, serão realizados ensaios de compressão triaxial sobre as amostras coletadas. Além disso, serão feitos ensaios granulométricos, de massa específica e de determinação da porosidade. A definição dos sensores empregados na umidade será feita com base na salinidade e pH do solo, dada a influência destes na qualidade de leitura. A disposição do sistema deverá ocorrer em áreas específicas dos setores de risco, com maior aptidão a ocorrência de deslizamentos: elevada densidade ocupacional, inclinação acentuada, ausência de drenagem e exposição. A RSSF será composta por um sistema integrado de estacas, distribuídas ao longo do talude ortogonalmente ao plano da face, com N sensores acoplados, em profundidades variáveis. Após a montagem da rede será possível coletar dados de toda a área em análise, que promoverão a criação de modelos estimativos de umidade em qualquer ponto e profundidade abrangida pelo sistema.

Será criada uma implementação baseada em Machine Learning para tratamento de informações, com o intuito de remover *outliers* e *offsets* dentre os dados brutos. Para tanto, será utilizada técnicas de programação, com vista à obtenção de dois filtros, um *Butterworth*, e outro baseado na média móvel obtida pela definição qualitativa dos pontos com sinal de entrada.

A coleta de dados deverá ocorrer entre as estações seca e chuvosa, para aferição das condições de diminuição do fator de segurança em relação à incidência hidrológica ao longo do tempo, considerando a transição entre ambos os cenários. Como também o averiguar o grau de saturação do sistema devido as percas de água da rede de abastecimento e esgotamento.

Resultados Esperados

O projeto proposto tem como principal objetivo a implementação de um sistema de monitoramento para identificar e prevenir deslizamentos de taludes em áreas vulneráveis da Região Metropolitana do Recife. Esse sistema se baseia em sensores de alta frequência que captam deformações no solo, fornecendo dados em tempo real para lidar com os impactos resultantes da expansão urbana e do desenvolvimento de atividades econômicas de grande escala na região. Para abordar as causas dos deslizamentos, o projeto propõe a utilização de Sistemas de Alerta Antecipado integrados com Redes de Sensores Sem Fio, coletando informações críticas, como umidade do solo, que desempenha um papel fundamental na análise de risco. Além disso, o projeto inclui a caracterização geológica das áreas de risco, a instalação de sensores de umidade e a aplicação de técnicas de Machine Learning para antecipar deslizamentos de taludes, com o objetivo final de propor soluções de drenagem natural e reduzir os riscos associados aos deslizamentos na Região Metropolitana do Recife. A integração de tecnologia avançada, sensores e métodos de geotecnia busca oferecer uma abordagem completa para enfrentar esse desafio.

Referências

ASKARINEJAD, A.; SPRINGMAN, S.M. A novel technique to monitor subsurface movements of landslides. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 55, n. 5, 2018, p. 620-630.

BRAGA, E.; PELOGGIA, A. U. G.; OLIVEIRA, A. M. S. Análise de risco geológico em encostas tecnogênicas urbanas: o caso do Jardim Fortaleza (Guarulhos, SP, Brasil). **Revista UNG Geociências**, v.15, n.1, 2016, p. 27-42.

HAFSI, A.; AGUILAR-BACERRA, C. D.; MATÍNEZ, O. F. **Sistemas de alerta temprana basado en la comunidad ante fenómenos hidrometeorológicos en localidades situadas en barras de litoral costera**. In: MARTÍNEZ, O. F.; HERNÁNDEZ, J. C. M.; BECERRA, C. D. A. (Org.) **Sistema de alerta temprana ante fenómenos hidrometeorológicos extremos en México**. Barranquilla: UAGRO, 2021. Cap. 2 p. 29-49.

MELO, F. C.; LANA, M. S.; PEREIRA, L. C.; LOPES, P. F. T. **Métodos computacionais e analíticos aplicados ao estudo de tombamento de blocos em taludes rochosos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU-ABERTO E MINA SUBTERRÂNEA, 7., 2012, Belo Horizonte. Anais [...] . Belo Horizonte: Researchgate, 2012. p. 30-43.

MELO, R. C.; ELLDORF, B. **Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: Camaragibe, PE**. [Recife]: CPRM, 2019. Dados vetoriais (SIG).

OTERO, M. D. **Aplicação de sensores inerciais no monitoramento de taludes de solo sujeitos a escorregamentos**. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

RUIZ, L. B. C. MANÁ: **Uma arquitetura para gerenciamento de redes de sensores sem fio**. 2003. 214 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SIDLE, R. C.; OCHIAI, H. **Landslides: Processes, Prediction, and Land Use**. Massachusetts: American Geophysical Union, 2006. 322 p. United Nations Office For Disaster Risk Reduction - UNISDR. Terminology.

YIN, Y.; WANG, H.; GAO, Y.; LI, X. Real-time monitoring and early warning of landslides at relocated Wushan Town, the Three Gorges Reservoir, China. **Landslides**, v. 7, n. 3, 2010, p. 339-349.

Recebido: 10/10/2023

Aprovado: 20/10/2023