

# PROPOSTA DE ÍNDICE DE RISCO GEOLÓGICO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE NORCIA, ITÁLIA

*P.B.Casagrande<sup>1</sup>, F. Fonzino<sup>2</sup>, E. Lanfranchi<sup>2</sup>, B. M. Fonseca<sup>1</sup>, I. S. De Sena<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

<sup>2</sup> Aalborg University, Dinamarca

Comissão V - Gestão Territorial e Cadastro Técnico Multifinalitário

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a proposta de Índice de Risco Geológico (IRG) para o município de Norcia na Itália, tendo, como foco principal, relacionar o risco geológico à estratégias e propostas para o planejamento regional. As variáveis incluídas neste índice as seguintes: declividade do relevo, índice de Hack, hidrogeologia e geologia estrutural. As quatro variáveis foram relacionadas por meio pesos com diferentes valores. Os resultados do Índice de Risco Geológico possibilitaram a identificação de três grandes compartimentos com considerável potencial de ocorrência de movimentação de massa.

**Palavras-chave:** Índice de Risco Geológico (IRG), Análise de Multicritérios, Planejamento Regional.

## ABSTRACT

The objective of this work is to present the proposed Geological Risk Index (IRG) for the municipality of Norcia, with the main focus being to relate the geological risk to strategies and proposals for regional planning. The variables included in this index are as follows: slope, length-gradient stream index, hydrogeology and structural geology. The four variables were related by different weights in matrix algebra. The results of the Geological Risk Index allowed the identification of three large compartments with a considerable potential for mass movement.

**Keywords:** Geological Risk Index (GRI), Multicriteria Analysis, Regional Planning.

## 1- INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASA

O município de Norcia se localiza na Província de Perugia, região de Umbria, na porção central da Itália nas coordenadas 42°47'36"N 13°5'38"E. O município cobre uma área de 273,71 km<sup>2</sup>, e situa-se próximo aos picos mais elevados da cordilheira dos Apeninos, uma cordilheira meridional da Itália central, sendo o pico mais elevado o Conrno Grande com 2904m. Considerada a espinha dorsal do país, a região tem uma paisagem geodiversa com alternâncias de vales e planícies, tendo, aproximadamente, 50% de seu território compartilhado com o Parque Nacional Monte Sibillini (FONZINO E LANFRANCHI, 2017). A figura 1 apresenta a localização do município de Norcia em relação aos terremotos ocorridos na região em 24 de agosto de 2016, o qual impactou severamente os núcleos urbanos locais.

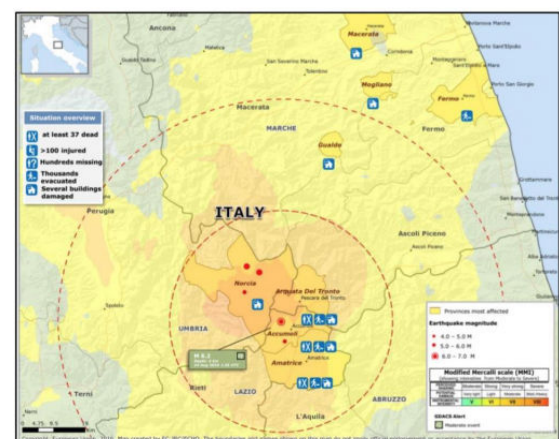


Figura 1: Localização da área de estudos e dos terremotos de 24 de agosto de 2016. Fonte: INGV

A cidade de Norcia e os vilarejos ao seu redor apresentam uma ocupação

datando do período neolítico, sendo ocupada pelos mais diferentes colonizadores e sobrevivendo a diversos casos de terremotos (FONZINO E LANFRANCHI, 2017). A construção da cidade tem edificações datadas do século 13, tais como representadas pela figura 2.



**Figura 2: Construção atingida pelo terremoto datada do Período da Idade Média. Fonte: Autores**

Neste contexto, após a ocorrência do terremoto de 24 de agosto de 2016, foi necessário estudos voltados para o planejamento de desenvolvimento da região após o terremoto. Sendo assim, o Índice de Risco Geológico (IRG) compôs uma das variáveis abordadas para compreender os sistemas ambientais e socioeconômicos que integram a área.

O plano de desenvolvimento para o município foi elaborado com o auxílio do *framework* do Geodesign, a fim de realizar do *Master Plan* de Norcia, sendo realizado durante um workshop na cidade de Perugia para chegar a solução do problema.

De maneira geral, o Geodesign consiste em passos metodológicos que buscam tornar mais efetiva e simbiótica a colaboração entre algumas profissões de projeto, das ciências geográficas, de tecnologia de informação e das pessoas que serão impactadas pelas mudanças (“people of the place”). Considera-se que todos estes grupos visam mudanças para melhorar as condições ambientais e sociais presentes na área de estudo. (STEINITZ, 2012).

Para o presente trabalho foram utilizados quatro fatores relacionados à geodiversidade e que foram considerados para a proposta do IRG, a saber: a declividade do relevo, o índice stream length-gradient (SL) aplicado à rede hidrográfica local, a hidrogeologia local (permeabilidade das rochas) e geologia estrutural.

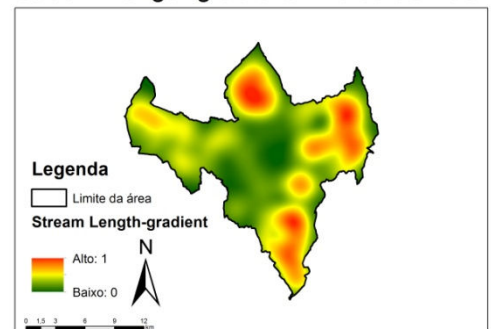
As variáveis consideradas foram processadas utilizando-se técnicas de análise espacial, sendo posteriormente relacionadas entre si por meio da análise multicritérios, resultando no IRG.

## 2- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia do Índice de Risco Geológico (IRG) reuniu quatro fatores geomorfológicos que influenciam na geodinâmica dos processos de geológicos de superfície e subsuperfície, a saber: declividade do relevo, permeabilidade hidrogeológica, geologia estrutural e a energia dos canais de drenagem fluvial. O IRG foi calculado por ponderada das variáveis analisadas em ambiente SIG, o que possibilitou a sua integração com outras variáveis relacionadas às estratégias de planejamento territorial e ambiental da área de estudo (MOURA, 2005).

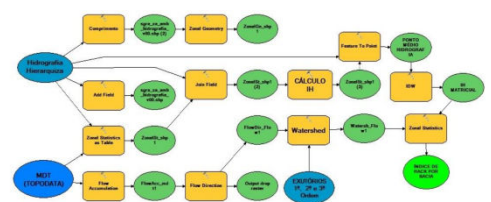
Inicialmente foram elaboradas as variáveis que serviram de entrada no modelo que compõe o IRG. O índice *Stream Length-gradient* (SL) foi elaborado inicialmente por Hack (1973), e foi aplicado à rede hidrográfica hierarquizada conforme método de Strahler (1957) para a análise e para espacialização da ação da incisão da drenagem fluvial no relevo, processo que pode ser desencadeado por fatores tectônicos e estruturais (endógenos), recorrentes na área de estudo (Figura 3).

Stream Length-gradient - Índice de Hack



**Figura 3: Índice de Hack para a municipalidade de Norcia**

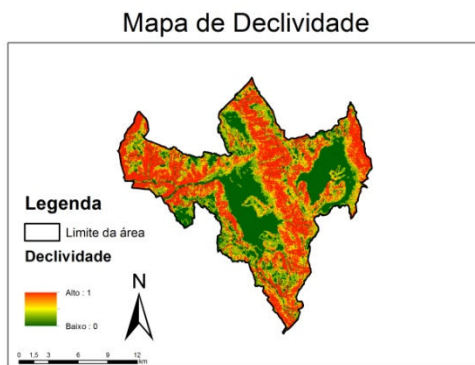
Para a elaboração deste índice utiliza-se a metodologia desenvolvida por Fonseca (2015) (Figura 4):



**Figura 4: Metodologia do SL. Retirado de Fonseca, 2015**

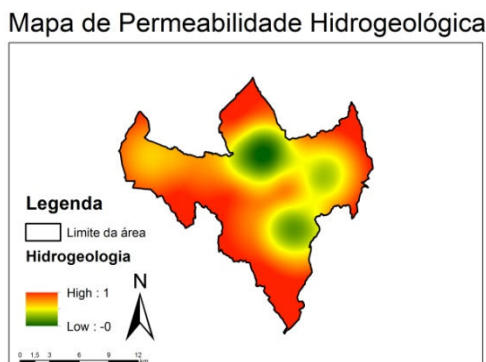
A declividade do relevo por sua vez tem por objetivo evidenciar as quebras de relevo, o qual foi obtido a partir do processamento de imagens SRTM da área de estudos (Figura 5). Os dados de declividade foram gerados em porcentagem, sendo classificados em 4 classes, nas quais representam de 0 até 2% considerado plano e passível de inundação; de 2 até 30% como declividade baixa; de 30 a 47% como alta declividade e acima de 47% como inapropriado para

utilização urbana e ações antropicas. Entretanto esses dados foram normalizados, para que possa haver interação utilizando geoprocessamento com as outras variáveis.

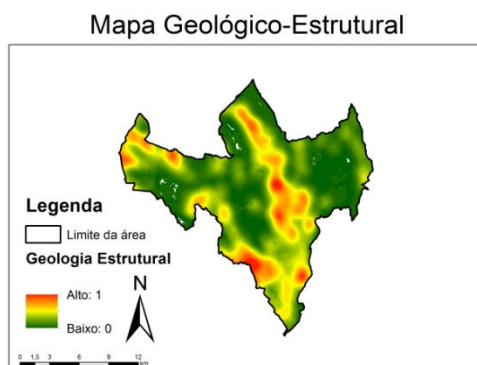


**Figura 5: Mapa de declividade da municipalidade de Norcia**

A hidrogeologia foi utilizada a fim de representar a taxa de permeabilidade das rochas, considerando que, quanto maior a permeabilidade maior a possibilidade de movimentação de massa (Figura 6). A quarta e última variável considerada é a geologia estrutural (Figura 7), a qual evidencia as falhas geológicas com as unidades geomorfológicas (escarpas, cristas ,vertentes alongadas, vale, colinas, patamares externos).



**Figura 6: Mapa de permeabilidade hidrogeológica ocorrente na municipalidade de Norcia**

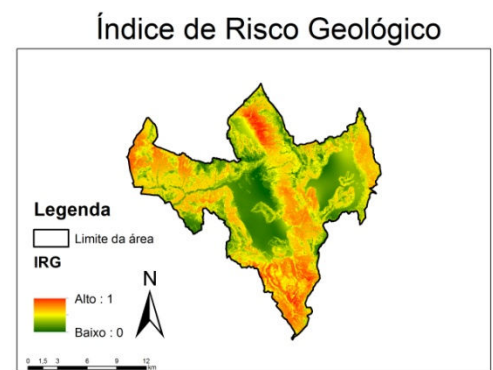


**Figura 7: Mapa Geológico-Estrutural da municipalidade de Norcia**

A fim de adequar as variáveis ( $M_{i,j}$ ) para integrar a análise multicritérios, cada uma das variáveis foi processado, normalizando (N) os valores numéricos na escala de 0 a 1, conforme a formula:

$$N = (M_{i,j} - \text{menor valor}) * 1 / (\text{maior valor} - \text{menor valor})$$

Assim, os valores próximos a 0 representam de baixo potencial de risco e valores próximos a 1 representam de alto potencial de risco. Em seguida, foi utilizada uma análise multicritérios (média ponderada) para a síntese final dos dados, considerando pesos de 30% para a declividade, 25% para a hidrologia, 15% para a hidrogeologia e 30% para a geologia estrutural. Os valores foram escolhidos pelo conhecimento técnico-científico dos autores do trabalho e com base em outros estudos já realizados pelos mesmos (FONSECA *et al*, 2017). Com isto, o Índice de Risco Geológico obtido é representado pela figura 8:



**Figura 8: Índice de Risco Geológico para a municipalidade de Norcia**

### 3- RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos foi possível identificar três grandes compartimentos com considerável potencial de ocorrência de movimentação de massa. Dois destes compartimentos estão localizados no território do Parque Nacional Monte Sibillini, se estendendo de norte a sul do município e na porção nordeste, e compartimento a noroeste do núcleo urbano de Norcia. A região apresenta importância ecológica relevante, com uma urbanização pouco expressiva, sendo que parte considerável do município se encontra dentro dos limites do parque nacional, logo, a movimentação de massa com potencial para atingir as moradias existentes tende a ser baixa. Contudo, devido o histórico de abalos sísmicos e contexto geoestrutural da região, a produção de informações espacializadas quanto ao risco geológico se faz necessário no que diz respeito ao planejamento de futuras ocupações, bem como no manejo de áreas naturais.

#### 4- CONCLUSÕES

O IRG se mostrou um produto importante para o processo de elaboração do *Master Plan* de Norcia, compondo os sistemas que representam as características ambientais da região. O índice favoreceu uma compreensão espacializada do risco geológico inerente das singularidades geológicas da área, evidenciando os locais com maior potencial de ocorrência de movimentos de massa.

Apesar da ocupação urbana na região ser rarefeita e de baixa densidade demográfica, os riscos inerentes da movimentação de massa são pertinentes, o que justifica a produção do material cartográfico apresentado. Além da preocupação com relação aos núcleos habitacionais, o IRG pode auxiliar na tomada de decisões quanto a intervenção na paisagem por obras de infra-estrutura, tais como estradas, túneis e ferrovias, indicando áreas com baixo potencial de movimentação, bem como áreas que podem sofrer intervenções mediante análise técnica mais aprofundada.

#### AGRADECIMENTOS (opcional)

À Universidade de Aalborg pelo convite para participar no projeto Geodesign Norcia. Ao CLA (Centro Linguístico d'Ateneo) pelo apoio logístico em Perugia, Itália. Ao CNPq pelo apoio através do projeto "Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a região do Quadrilátero Ferrífero-MG", Processo 401066/2016-9, Edital Universal 01/2016. A CAPES pela bolsa de metrado.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FONSECA, Bráulio Magalhães. Conceitos e práticas de geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo. Tese (doutorado em geografia). UFMG, 2015, 200 p.
- FONSECA, B.; CASAGRANDE, P; MOURA, A. C. M. Geomorphological Index for Land Use Planning – From Qualitative to Quantitative Data, 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHANGING CITIES, 2017
- FONZINO, F.; LANFRANCHI, E. The Application of the Geodesign Approach to an Italian Post-Earthquake Context, 2017
- HACK, John T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the US Geological Survey, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.
- MOURA, Ana Clara M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano/Ana Clara Mourão Moura. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. Da autora, 2005. 294p.
- STEINITZ C. A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design. 1. ed. Redlands, CA: ESRI Press, 2012. 360p.
- STRAHLER, Arthur N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.