

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS AO PROCESSO DE MOVIMENTO DE MASSA SEM A VISITA DE CAMPO E OBTIDA POR ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Identification Of Areas Susceptible To The Process Of
Mass Movement Without Field Visit And Obtained By
Multicriteria Analysis

Rodrigo Batista Lobato¹
Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva²
Carlos Frederico de Sá Volotão²

¹Universidade Federal de Juiz de Fora
²Instituto Militar de Engenharia

Resumo

A importância do mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa é atualmente muito debatida, tanto no caráter preventivo de bens materiais e imateriais quanto ferramenta para o planejamento e ordenamento urbano. Desta maneira, pode-se mencionar, por exemplo, o desastre em janeiro de 2011 na Região Serrana com mais de 900 mortes no Estado do Rio de Janeiro que trouxe à tona a discussão da relevância em estudos voltados para essa temática. Neste sentido, busca-se no presente artigo propor uma metodologia para identificar áreas com susceptibilidade aos deslizamentos a partir de mapeamentos pré-existentes, sem visita de campo, através do *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, da análise bivariada e multivariada, a fim de agilizar o mapeamento de áreas que ainda não receberam a visita dos órgãos governamentais, sendo esta, uma alternativa complementar à investigação dos critérios de risco *in situ*, e não, como uma metodologia que viria a substituir a investigação em campo. Após a aplicação da metodologia, gerou-se três mapas de susceptibilidade com três, cinco e sete fatores condicionantes escolhido após revisão bibliográfica (pedologia, declividade, forma das vertentes, uso do solo, vegetação, orientação das vertentes e altimetria) e validou-se para saber qual destes teria a melhor resposta para a metodologia através da análise multicritério, tendo como referência o trabalho de (MARCELINO E FORMAGIO, 2004). Observou-se que o mapa com sete fatores condicionantes além de apresentar menor generalização cartográfica, alcançou índices com grau de acerto de 70% na classe susceptibilidade alta e 27% na classe susceptibilidade média.

Palavras-chave: Mapa de susceptibilidade, AHP, Análise Multicritério, Desastres Naturais, Prevenção de Deslizamentos.

Abstract

Much has been discussed about the importance of mapping areas susceptible to mass movements, not only in the preventive character of tangible and intangible assets, but also as a tool for planning and urban development. Therefore it may be mentioned the Mega Disaster in the Mountain Region of Rio de Janeiro State in 2011 with more than

Correspondência:
Rodrigo Batista Lobato
Email: lobatorj@yahoo.com.br

Recebido em outubro de 2014
Aprovado em janeiro de 2016
Artigo disponível em
www.cadgeo.uff.br

900 deaths in the event, that has brought out the discussion of the relevance of studies in this area. In this sense, the objective of this paper is to propose a methodology to identify areas susceptible to landslides from pre-existing mappings without field visit, that has brought out *Analytic Hierarchy Process* (AHP), by bivariate and multivariate analysis in order to expedite the mapping of areas that still did not receive a visit from government agencies. As a result, we generated three susceptibility maps of three, five and seven conditioning factors (soil conditions, slope, shape of slopes, land use, vegetation, slope orientation and altimetry) and we validated them to know which of the maps would be the best answer to the methodology of the multiple criteria analysis, with reference to the work of MARCELINO AND FORMAGIO, (2008). In conclusion, it was observed that the map with seven conditioning factors obtained the smallest cartographic generalization, indices achieved with a degree of success of 70% in the high susceptibility class and 27% in the middle class susceptibility.

Keywords: Susceptibility Maps, Multicriteria Analysis, AHP, Natural Disasters, Landslides Prevention.

INTRODUÇÃO

De acordo com Tominaga (2009), o aumento na incidência de desastres naturais (DN) é considerado por diversos autores como consequência do intenso processo de urbanização, verificado no país nas últimas décadas, que levou ao crescimento desordenado das cidades em áreas impróprias à ocupação devido às suas características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis.

Visto que, tem-se uma população que está exposta a uma situação de risco geológico-geomorfológico, faz-se salutar que os gestores públicos promovam ações efetivas para a prevenção de tais DN em áreas urbanas, desta maneira, vale frisar que, visando a prevenção pode-se aplicar tanto medidas estruturais, quanto medidas não estruturais.

Segundo Carvalho (2015), as medidas estruturais são implementadas por meio de obras de engenharia e infraestrutura construídas pelo homem. No que diz respeito as medidas não estruturais, compreende de forma mais ampla as políticas voltadas para o caráter preventivo dos desastres, estudos de impacto ambiental, avaliações de risco ambientais. Por sua vez, a Secretaria de Estado de Santa Catarina (2015), complementa que tais medidas não estruturais envolvem também um conjunto de medidas estratégicas e educativas, sem envolver obras de engenharia, voltadas para a redução do risco e suas consequências.

O mapeamento de áreas com susceptibilidade ao deslizamento constitui uma etapa que precede, tanto o mapa de perigo quanto o de risco de deslizamentos, além de subsidiar o planejamento urbano e ambiental. Este tipo de mapeamento tem por finalidade identificar nas vertentes as áreas com maior instabilidade e mais susceptíveis aos movimentos de massa. Conhecer as áreas com susceptibilidade ao deslizamento, de modo que VARNES (1984), compreende que representa a hipótese de que os deslizamentos, no futuro, ocorrerão nas mesmas condições que levou aos movimentos de massa do passado, e desta maneira os modelos de previsão dessas áreas oferecem pistas sobre as áreas potencialmente mais instáveis.

Por sua vez Vestena (2010) reforça a importância de identificar e mapear as encostas susceptíveis à ocorrência de deslizamentos, considerando que o conhecimento prévio das áreas mais suscetíveis a tais circunstâncias, permite que ações mitigadoras e preventivas sejam implementadas antes mesmo de sua eventualidade, reduzindo, assim, os prejuízos materiais e humanos.

Atualmente o processo de mapeamento tradicional de áreas susceptíveis a deslizamentos é elaborado através do trabalho de campo pelos órgãos governamentais responsáveis. Neste sentido, para o andamento do processo de mapeamento da susceptibilidade se faz necessária à visita presencial.

Este processo de mapeamento citado acima é mais oneroso, preciso e lento, visto que: esta equipe necessita ficar mais tempo em campo para coletar e analisar os dados das vertentes; por contar com uma oferta reduzida de especialistas para compor o corpo técnico; e como consequência tem-se uma abrangência menor de áreas em risco para receber a visita de campo, com outras localidades ficando sem nenhuma informação técnica quanto a sua susceptibilidade.

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para identificar áreas com susceptibilidade a deslizamentos a partir de mapeamentos pré-existentes de dados geológico-geomorfológicos, sem visita de campo através da análise bivariada e multivariada, a fim de agilizar o mapeamento de áreas que ainda não receberam a visita dos órgãos governamentais.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no Maciço da Tijuca e nas ruas a jusante, estando inserido no município do Rio de Janeiro, que possui um clima tropical, com os verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. A região em estudo apresenta um clima definido como tropical de altitude, com precipitação média anual em torno de 2.300 mm, sendo a cobertura vegetal é caracterizada pela Floresta da Tijuca, de mata latifoliada perene, (FERNANDES et al, 1999).

Conforme Fernandes et al., (2006) a cidade do Rio de Janeiro é formada por dois compartimentos geomorfológicos bem distintos: os maciços litorâneos e as áreas de baixada, onde ainda se incluem alguns morros isolados. Para os mesmos autores, o Maciço da Tijuca se destaca como maciço litorâneo que está inserido no contexto da metrópole do Rio de Janeiro.

Devido à pressão urbana, este maciço vem sofrendo ao longo dos anos com o desmatamento das ocupações regulares e irregulares, que estão subindo a encosta no seu entorno. A respeito dos impactos ambientais na área de estudo, (Fernandes et. al., 1999) ratificam que, no Maciço da Tijuca às condições de degradação ambiental são provenientes do desmatamento, queimadas e ocupação desordenada.

Conforme o Mapeamento da (CPRM, 2001), a área de estudo é descrita pelo domínio dos maciços montanhosos isolados nas baixadas litorâneas, sustentados por granitos, granitóides, ortognaisses migmatíticos, charnockitos e paragnaisses. Esta área possui vertentes convexas a côncavas e escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados.

Os softwares utilizados nesta pesquisa foram o ArcGIS 9.3 da Environmental Systems Research Institute (ESRI), utilizado para realizar as análises espaciais e estatísticas, visualização das Ortofotos, criação de novos Planos de Informação (PI) e a conversão destes, do formato vetorial para matricial. Outro software utilizado foi o Excel do Office da Microsoft. Ambos os programas foram utilizados no Instituto Militar de Engenharia. O estudo foi dividido em nove etapas, conforme Figura 1.

A primeira etapa do presente estudo foi o levantamento bibliográfico dos diferentes Fatores Condicionantes (FC) referentes à susceptibilidade a movimento de massa, visto que existe uma grande diversidade entre os autores no que tange a influência dos FC na deflagração dos escorregamentos.

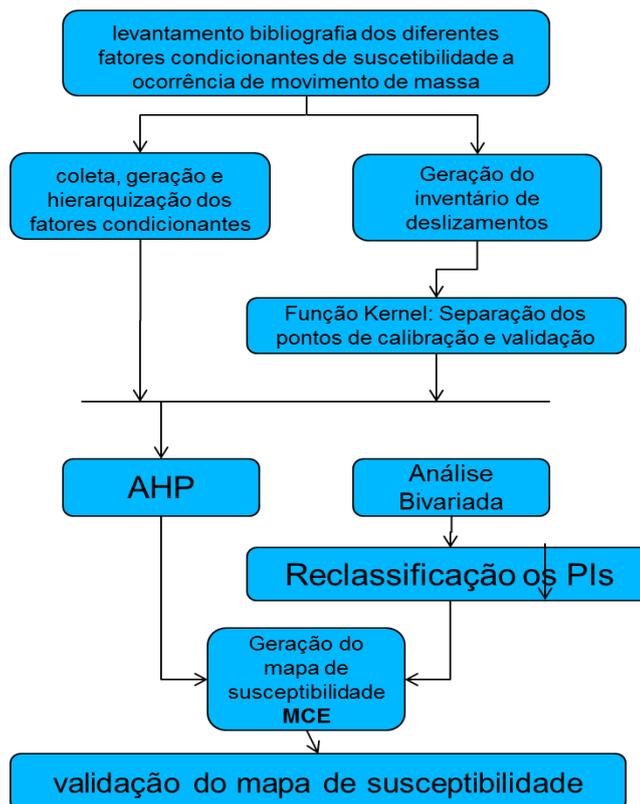


Figura 1. Visão geral do método proposto.

Em seguida, dividiu-se esta etapa em três fases, sendo: a primeira fase a coleta da base de dados, baseada nos FC realizada na etapa anterior; a segunda fase consiste em gerar outros fatores condicionantes que não foram coletados, tais como: a orientação das vertentes e forma das vertentes; e a terceira e última fase desta etapa estabeleceu a hierarquização dos fatores condicionantes, a partir da frequência e importância através de revisão bibliográfica, sendo eles: 7FC - pedologia, declividade, forma da vertente, cobertura vegetal, uso do solo, orientação da vertente e altimetria; 5 FC - pedologia, declividade, forma da vertente, cobertura vegetal e uso do solo; e 3FC - pedologia, declividade e forma da vertente.

Desta maneira, produziu-se um mapa de inventário dos deslizamentos a partir de Fotointerpretação gerando pontos na crista dos escorregamentos, utilizando as Ortofotocartas do ano de 2010 cedidas pela Secretaria de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro (SMAC) e visualizando-as pelo *software* ArcGIS 9.3 da ESRI.

Foram plotados 86 pontos das ocorrências de deslizamentos, Figura 2, sendo possível conhecer a distribuição espacial desses eventos na área de estudo. Parte desses pontos será utilizada para ponderar as classes dos FC na calibração e os pontos restantes utilizados na validação.

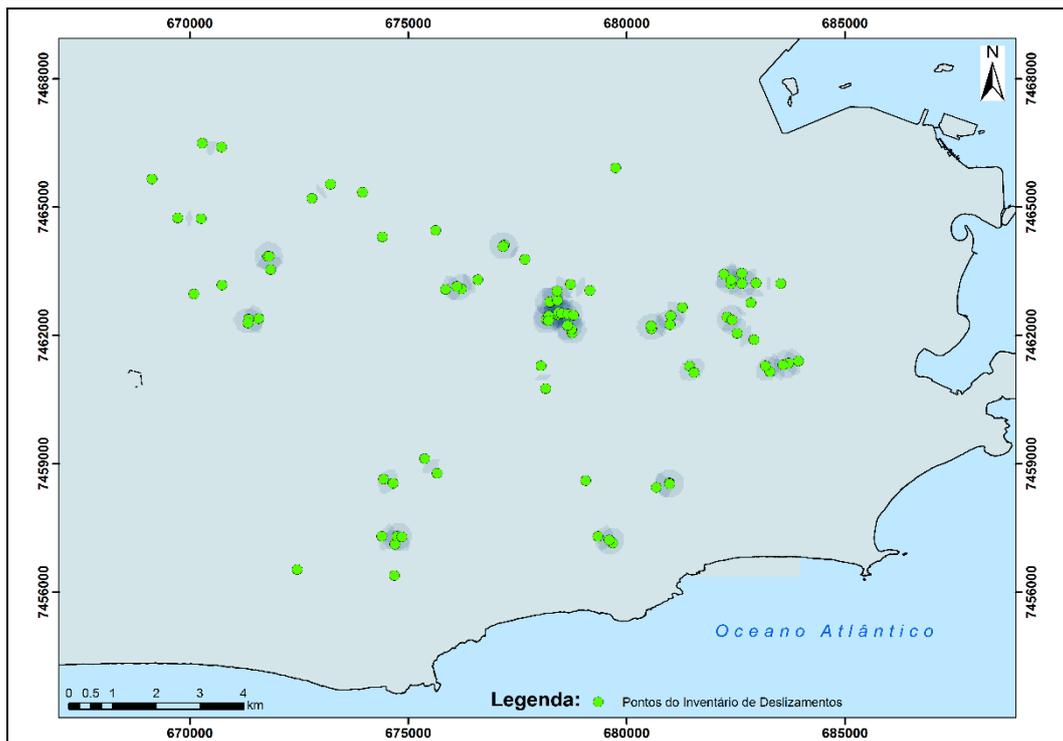


Figura 2. Mapa de inventário de deslizamentos.

Com o inventário das ocorrências de deslizamentos, foi possível conhecer a distribuição espacial desses eventos na área de estudo. Esses pontos serão utilizados para ponderar os FC e suas classes, devendo ser separados entre os mais intensos e menos intensos. Para tanto foi empregada a ferramenta *Kernel Densite* utilizando o *software* ArcGIS 9.3.

Sendo assim, gerou-se o mapa de concentração, e partir deste, foram escolhidos quais pontos seriam utilizados para realizar a calibração do modelo e quais seriam utilizados para realizar a validação do modelo. Dos 86 pontos levantados, escolheu-se 56 pontos (Figura 3), menos concentrados para a calibração, e por sua vez, escolheu-se 30 pontos (Figura 4), mais concentrados para realizar a validação. Utilizando o inventário de deslizamento, foram separados os pontos para realizar a calibração e a validação do método proposto.

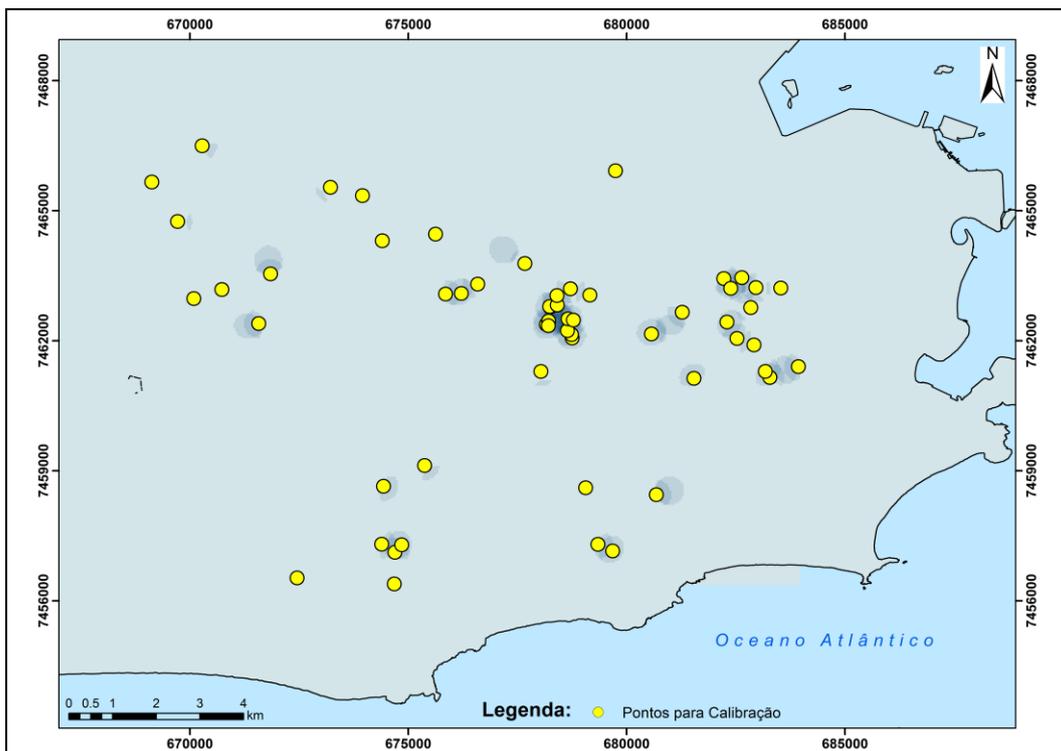


Figura 3. Mapa de densidade com os pontos para calibração.

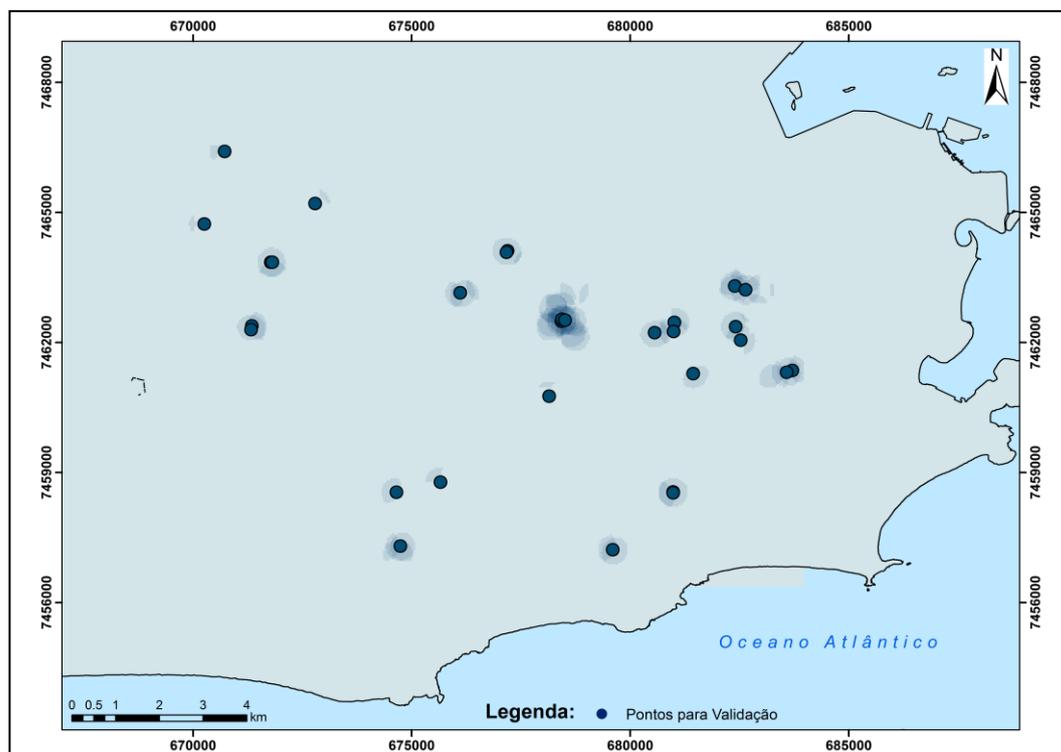


Figura 4. Mapa de densidade com os pontos para validação.

Thomas Saaty, em 1980, desenvolveu uma técnica matemática no contexto de um processo de tomada de decisão denominado Processo de Análise Hierárquica, em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que baseia-se na comparação par-a-par.

Baseado neste método realizou-se três vezes este procedimento inferindo pesos para três, cinco e sete fatores geológico-geomorfológicos. A motivação para analisar três vezes o AHP com FC diferentes tem como objetivo avaliar os diferentes mapas de áreas susceptíveis modelados com diferentes variáveis.

Neste sentido, busca-se responder a seguinte pergunta: a quantidade de critérios pode influenciar o resultado da análise multicritérios? O resultado obtido terá uma diferença muito discrepante que não permita que análises futuras sejam feitas com um número menor de PI ou não?

MARCELINO (2003) entende que a tabulação cruzada com o intuito de correlacionar a ocorrência de escorregamentos e os parâmetros geoambientais na área de estudo, além de realizar a ponderação das classes e PI de cada parâmetro.

Desta maneira, busca-se no estudo proposto o cruzamento dos diferentes planos de informação com a ocorrência registrada de movimentos de massa na área de estudo e essa ponderação definirá as notas das classes de cada FC e utilizar-se-á parte do inventário de deslizamento para fazer esta aplicação.

Antes de aplicar a álgebra de mapas para executar a análise multicritérios, é preciso reclassificar os pixels com as notas das classes que foram obtidas na análise bivariada, para tanto foi utilizada a ferramenta *Arctoolbox Recassify* do software ArcGIS 9.3.

A partir dos resultados das etapas anteriores, tem-se subsídio para implementar a análise multicritério, em inglês Multi-Criteria evaluation (MCE). O método utilizado para o MCE é a Combinação Linear Ponderada, em inglês Weight Linear Combination (WLC). Para executar este método, será utilizado o software ArcGIS 9.3, através da ferramenta *Arctoolbox Weighted Sum*, ou soma ponderada, conforme equação abaixo:

(Peso Pedologia * Nota variável Pedologia + Peso Declividade * Nota variável Declividade + Peso Forma das Vertentes * Nota variável Forma + Peso Vegetação * Nota variável Vegetação + Peso Uso do Solo * Nota variável Uso do Solo + Peso Orientação das Vertentes * Nota variável Orientação das Vertentes + Peso Altimetria * Nota variável Altimetria).

Este método determina o quanto cada fator é mais importante do que outro, desta forma, fatores com peso alto tem maior influência no mapa final de susceptibilidade, segundo (VANACOR, 2006).

Para representar o grau de susceptibilidade foram utilizados intervalos iguais para determinar os valores de cada uma das classes, visto que têm-se três intervalos, sendo eles: baixa, média e alta susceptibilidade e visualizados pela paleta de cores onde o valor menos susceptível é representado pela cor verde, a transição para o valor máximo será representada pela cor amarela e a classe mais susceptível representado pela cor vermelha.

Para validar o mapa de susceptibilidade foram utilizados os pontos do inventário de deslizamentos que não participaram na análise bivariada. Como referência para validar o mapa gerado de susceptibilidade, usar-se-á o trabalho de (MARCELINO E FORMAGIO, 2004) que compara e valida à obtenção de mapas de susceptibilidade a escorregamento com 62% de acerto na classe Muita Alta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta pesquisa buscou-se um método para gerar um mapeamento da susceptibilidade dos deslizamentos nas encostas, com o uso das geotecnologias e através da análise dos fatores condicionantes geológico-geomorfológicos.

A técnica do AHP para extração dos pesos das variáveis apesar de não tirar a subjetividade em sua totalidade, não permite contradições em sua ponderação ao fazer-se o uso da escala de influência de uma a nove, estabelecidas por Saaty na década de 1980. Desta forma, realizou-se esta técnica com três, cinco e sete FC, apresentado respectivamente pela tabela 1.

O passo a passo para alcançar tais valores, pode ser encontrado na literatura (SAATY, 1980; PAIVA, 2008; FERREIRA, 2012 e LOBATO, 2014).

Tabela 1. Ponderação dos FC.

Nº de FC	FCs	Pesos
Três	Pedologia	0,478
	Declividade	0,350
	Forma das vertentes	0,172
Cinco	Pedologia	0,326
	Declividade	0,272
	Forma das vertentes	0,181
	Vegetação	0,147
	Uso do Solo	0,074
Sete	Pedologia	0,263
	Declividade	0,216
	Formas das vertentes	0,167
	Vegetação	0,144
	Uso do Solo	0,097
	Orientação das vertentes	0,057
	Altimetria	0,056

Com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi possível, também, o cruzamento dos mapeamentos pré-existentes com o inventário de deslizamentos, por meio da análise bivariada para avaliação dos condicionantes geológico-geomorfológicos.

Com esta ferramenta pode-se cruzar os dados com facilidade de sobreposição dos mapas permitindo a avaliação da influência dos deslizamentos em cada mapa temático, oferecendo uma série de estatísticas, conforme as Tabelas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 2. Pedologia x Deslizamentos.

Classes	Quant	%
Área Urbana	21	37,50
Latossolos	20	35,71
Podzólicos	15	26,79
Total	56	100

Tabela 3. Declividade x Deslizamentos.

Classes %	Quant	%
0 3	0	0,00
3 8	1	1,79
8 15	5	8,93
15 25	13	23,21
25 35	18	32,14
35 45	11	19,64
> 45	8	14,29
TOTAL	56	100

Tabela 4. Uso do Solo x Deslizamentos.

Classes	Quant	%
Afloramento rochoso e depósitos sedimentares	10	17,86
Áreas não edificadas	6	10,71
Áreas residenciais	3	5,36
Cobertura arbórea-arbustiva	16	28,57
Cobertura gramínea-lenhosa	15	26,79
Favela	6	10,71
Total	56	100

Tabela 5. Orientação das Vertentes x Deslizamentos.

Classes	Quant	%
Norte: 337,5º - 22,5º	12	21,43
Nordeste: 22,5º - 67,5º	4	7,14
Leste: 67,5º - 112,5º	7	12,50
Sudeste: 112,5º - 157,5º	2	3,57
Sul: 157,5º - 202,5º	8	14,29
Sudoeste: 202,5º - 247,5º	9	16,07
Oeste: 247,5º - 292,5º	6	10,71
Noroeste: 292,5º - 337,5º	8	14,29
Total	56	100

Tabela 6. Altimetria x Deslizamentos.

Classes	Quant	%
0 20	0	0,00
20 50	0	0,00
50 100	13	23,21
100 150	8	14,29
150 200	6	10,71
200 250	11	19,64
250 300	5	8,93
300 350	1	1,79
350 400	4	7,14
400 450	3	5,36
450 500	2	3,57
500 550	1	1,79
550 600	1	1,79
600 650	1	1,79
TOTAL	56	100

Tabela 7. Vegetação x Deslizamentos.

Classes	Quant	%
Afloramento Rochoso	2	3,57
Áreas Urbanizadas	14	25,00
Reflorestamento	15	26,79
Solo exposto	3	5,36
Vegetação arbórea-arbustiva	6	10,71
Vegetação gramíneo-lenhosa	6	10,71
Vegetação Secundária	10	17,86
Total	56	100

Tabela 8. Forma das Vertentes x Deslizamentos.

Classes	Quant	%
Convexa	24	42,86
Côncava	31	55,36
Retilínea	1	1,79
Total	56	100

Verificou-se que a distribuição espacial dos deslizamentos após a análise bivariada na área de estudo, o FC pedologia em seu atributo Área Urbana contém tanto os aglomerados subnormais (na encosta ou no plano) quanto às residências regularizadas. Dentre os três atributos do FC pedologia dois se destacaram com maior ocorrência dos deslizamentos, sendo eles Áreas urbanas, que não foram classificados os tipos de solo, representada por 37,50% e seguido com 35,71% de latossolos, sendo este um solo maduro e profundo.

Com relação à declividade, as classes declivosas que apresentam maior incidência estão no intervalo 15º - 25º com 23,21% e 25º - 35º com 32,14%, demonstrando ser uma área de deposição de colúvio mais susceptível ao deslizamento.

O fator condicionante “forma da vertente” possui três classes, mas com grande destaque apenas em duas, sendo as áreas côncavas e convexas. A maior incidência dos deslizamentos ocorreu nas áreas côncavas com 55,36% contra 42,86% das áreas convexas. As áreas côncavas diferentemente das convexas acumulam mais sedimentos e o seu processo de cisalhamento ocorre mais a montante em declividades menos íngremes.

A variável cobertura vegetal por sua vez, possui sete classes, com destaque para menores taxas de ocorrências para as classes afloramento rochoso, e solo exposto entre 3,57% a 5,36%. As classes com maior porcentagem de ocorrência entre 25,00% e 26,79% respectivamente para Áreas Urbanizadas e Reflorestamento.

Este FC possui sete classes com elementos naturais, sendo quatro referentes à vegetação. Se comparada a tabela de correlação da cobertura vegetal com a tabela de correlação do uso do solo, observamos uma tendência aos deslizamentos com maior frequência nas áreas verdes. Por sua vez o dado de vegetação, diferentemente do uso do solo, não especifica os tipos de moradias das áreas urbanas, juntando todas na mesma classe, Áreas Urbanizadas.

Na correlação entre uso do solo e deslizamentos podemos observar as áreas com maior frequência dos deslizamentos dentre as seis classes, um destaque para a cobertura vegetal arbórea-arbustiva e a cobertura vegetal gramíneo-lenhosa, e quando somadas possuem 55,36% das ocorrências.

Das seis classes, apenas três são referentes aos elementos naturais (afloramento rochoso, arbórea-arbustiva e gramíneo-lenhosa), com as duas últimas agrupando todo grupo vegetal. Por sua vez, as classes que representam os elementos artificiais são mais detalhadas quanto às áreas com moradias regulares e irregulares, também denominadas aglomerados subnormais e as áreas com solo exposto que ainda não foram edificadas. Pela especificidade do dado, entende-se que o objetivo do mapeamento deste não foi maior precisão quanto à sucessão da cobertura vegetal, diferente do PI cobertura vegetal.

De todas as classes da variável orientação da vertente, os atributos com menor expressão foram: Sudeste que possui a ocorrência de dois deslizamentos de 56 ocorrências, com 3,57% e a Noroeste com 7,14%. As demais classes estão dentro do intervalo de 10,21% a 21,43%.

Quanto à altimetria das vertentes, o intervalo de classes com destaque foi de 50m – 250m, mostrando coerência com os resultados anteriores onde ocorre maior deposição de sedimentos, maior infiltração, e desta maneira, sendo a área com maior incidência dos deslizamentos. Deste intervalo, podemos observar que de 50 – 100m, os deslizamentos são mais frequentes com 23,21% das ocorrências.

Através do MCE pode-se extrair os três mapas de susceptibilidade por meio da combinação linear ponderada, utilizando as ponderações realizadas anteriormente e podemos observá-los nas Figuras 5, 6 e 7.

O critério utilizado para definir os graus de susceptibilidade foi a divisão em três intervalos iguais para estabelecer as classes, sendo: susceptibilidade baixa na cor verde, susceptibilidade média na cor amarela e susceptibilidade alta na cor vermelha

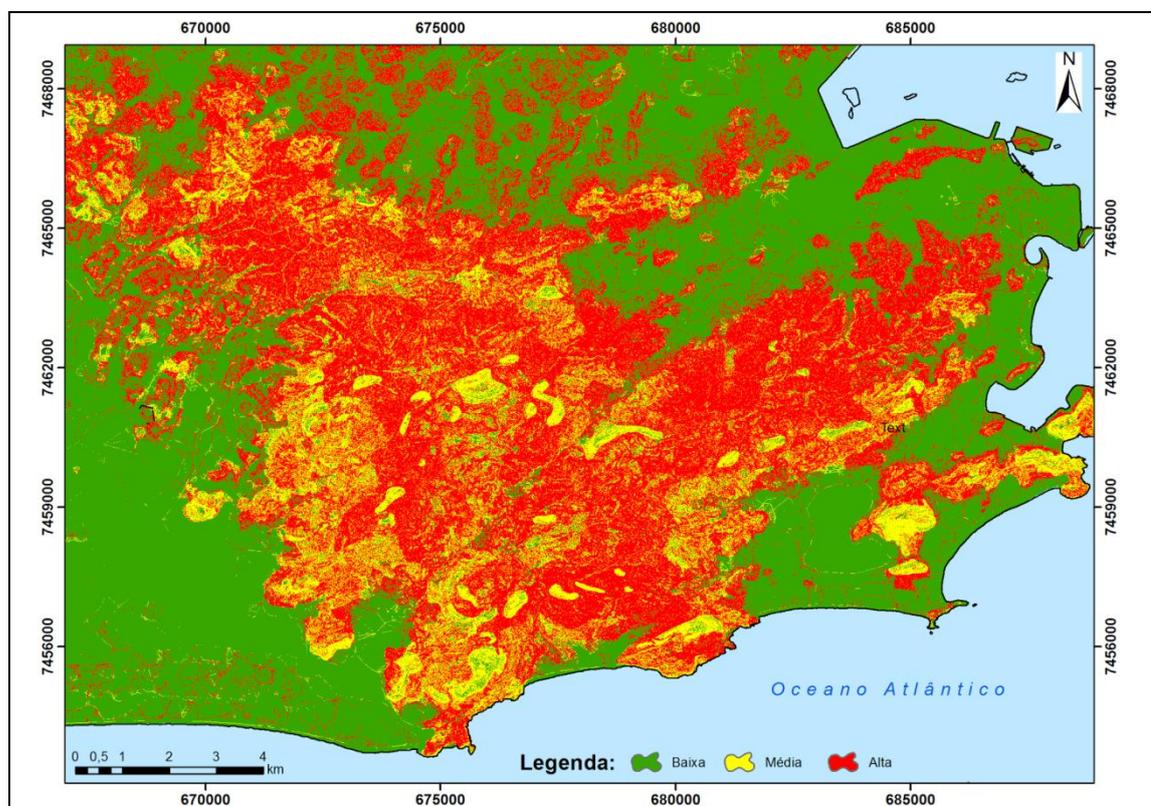


Figura 5. Combinação linear ponderada utilizando 3 FC: pedologia, declividade e forma das vertentes.

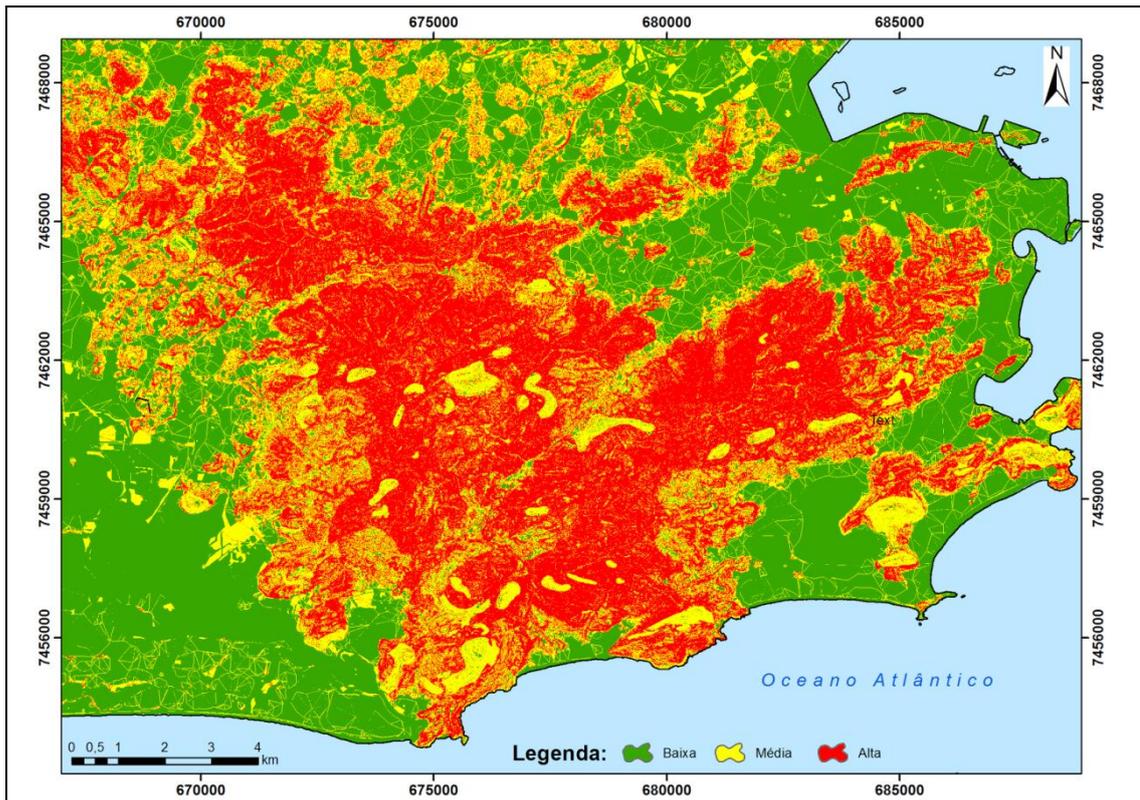


Figura 6. Combinação linear ponderada utilizando 5 FC: pedologia, declividade, forma das vertentes, vegetação e uso do solo.

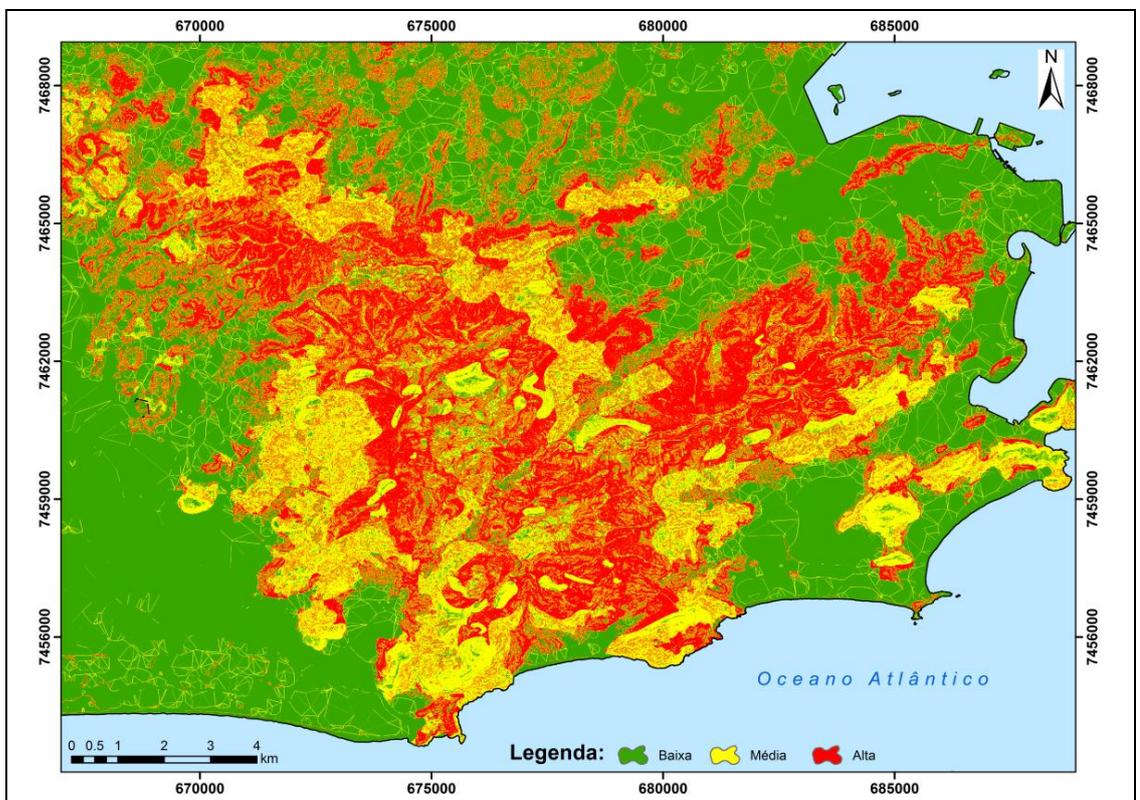


Figura 7. Combinação linear ponderada utilizando 7 FC: pedologia, declividade, forma das vertentes, vegetação, uso do solo, orientação da vertente e altimetria.

Nesta análise espacial, utilizou-se a mesma escala cartográfica no recorte espacial estudado, sendo que, pode-se dizer que o nível de detalhamento explorado foi a inclusão de outros PI com atributos diferentes, ou seja, as variáveis condicionantes para aplicar o MCE.

Nota-se com os três resultados após realizar o MCE que, na primeira aplicação ao utilizar uma quantidade menor de FC, tem-se uma generalização da informação gráfica maior das áreas susceptíveis com alto risco de deslizamento, estando o maciço da Tijuca quase que em sua totalidade na cor vermelha, com poucas áreas com média susceptibilidade, além de boa parte com baixa susceptibilidade a jusante do maciço nas áreas planas.

Porém, vale frisar que, esta generalização não é devido a sua escala cartográfica adotada (com a ideia que quanto maior for o denominador, menor será a escala, e assim, perde-se os detalhes das informações espaciais), mas sim, referente a limitação em realizar o MCE apenas com três PI .

Aumentando de três para cinco FC, aumentou-se o nível de informações para análise, e observa-se que a classe que expressa a susceptibilidade média teve um discreto realce nas bordas do maciço, sendo que, esta generalização ainda está muito significativa.

Ao realizar a operação com os sete FC percebe-se uma menor generalização do resultado nas áreas mais susceptíveis, apresentado também, de maneira expressiva na susceptibilidade média.

Para validar o método utilizado para gerar o mapa de susceptibilidade de movimentos de massa, fez-se o uso dos pontos do inventário de deslizamento que não foram utilizados na calibração do estudo proposto e conforme supracitado e os 30 pontos utilizados para a validação foram plotados nos três resultados gerados, Figura 8, 9 e 10.

O referencial teórico utilizado neste estudo como critério de validação foi o trabalho de (MARCELINO E FORMAGIO, 2004), definindo como satisfatório um grau de acerto de 62% na classe com alta susceptibilidade, a qual observar-se-á nos resultados obtidos da presente pesquisa.

Já com os intervalos das classes de susceptibilidade estabelecidos, foram calculadas as porcentagens de cada ponto em seu respectivo intervalo de classe, Tabela 9.

Tabela 9. Validação.

3 FC - Validação		
Classes	Quant Desliz	%
Baixa	1	3
Média	5	17
Alta	24	80
5 FC - Validação		
Classes	Quant Desliz	%
Baixa	1	3
Média	6	20
Alta	23	77
7 FC - Validação		
Classes	Quant Desliz	%
Baixa	1	3
Média	8	27
Alta	21	70

Analisando o grau de acerto, os resultados com menores FC possuem um desempenho melhor na classe alta susceptibilidade, com 80%, 77% e 70%, respectivamente 3FC, 5FC e 7FC. Essa diferença representa 10% entre os mapas com 3 e 7 FC.

Na classe média observa-se o efeito inverso da classe alta, demonstrando uma diferença de 10% também entre os extremos, mas com a diferença que o maior resultado está no mapa com 7FC. A classe baixa foi a única a manter-se igual tanto nas quantidades de deslizamentos quanto na sua porcentagem.

CONCLUSÃO

Vale enfatizar que este trabalho não tem a pretensão de substituir as avaliações dos critérios de risco in situ e de maior precisão, como levantamentos de campo e monitoramento dos processos geomorfológicos, de modo que, busca-se apontar esta proposta como uma alternativa complementar, assim como, apoiar ainda mais, a tomada de decisão das áreas de risco a serem monitoradas em escala local.

O uso do SIG e Sensoriamento Remoto (SR), aplicados ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa mostraram ser ferramentas eficazes, desde a visualização, geração e análise dos mapas temáticos.

Estas ferramentas tornam ágil o processo de elaboração de mapas de susceptibilidade, facilitando o armazenamento, atualização e reprodução destas informações, além de reduzir os custos iniciais da gestão de DN ou Gestão dos Riscos Ambientais, permitindo ao gestor obter maior abrangência das áreas propensas a deslizamento e podendo priorizar os mapeamentos mais detalhados nas áreas com maior susceptibilidade.

Uma grande dificuldade em escolher quais pontos no inventário seriam utilizados para a calibração e para a validação, foi mitigada ao utilizar a função Kernel Densite, que indica ser admissível para definir esses pontos.

Todos os três resultados se comparado à validação de 62% na classe de alta susceptibilidade podem ser aceitos e tidos como satisfatórios, mas pode-se deduzir algumas questões e observar que dos três mapas, pode-se estabelecer qual possui um resultado ainda melhor.

Sabendo que os três mapas já alcançaram um grau de acerto satisfatório, foi analisado os FC geológico-geomorfológicos do presente artigo e pode-se inferir sobre os resultados dos seguintes mapas de susceptibilidade e concluir que dos três mapas de susceptibilidade gerados, quanto menor o número de fatores condicionantes maior é a generalização cartográfica para a classe que indica média e alta susceptibilidade.

Utilizar um mapa com uma simplificação da probabilidade dos deslizamentos quase em sua totalidade é garantir que todos os pontos para a validação estejam todos nas áreas vermelhas, criando uma falsa sensação de acerto, visto que sabemos que existem áreas com o potencial deflagrador menor. Pode-se observar que a medida que o número de FC aumentam, a classe de média susceptibilidade aumenta também, assim como a classe de alta susceptibilidade diminui.

Dentre os três resultados após a validação, o mapa que apresentou melhor resposta foi aquele que fez a análise multicritério com os sete FC geológico-geomorfológicos, visto que, quanto maior o número de variáveis, menor será a generalização cartográfica e com maior detalhamento das áreas mais propensas aos deslizamentos nas encostas.

Constata-se que o resultado gerado a partir de sete variáveis atingiu 70% de acerto dos pontos estão nas áreas que indicam alta susceptibilidade a deslizamento, assim como, 27% da susceptibilidade média, mostrando-se uma resposta satisfatória ao método proposto.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizada a inclusão de outras variáveis, o que poderá possibilitar a melhor avaliação, tais como um mapeamento de solo mais detalhado, geologia, distância da drenagem, profundidade do solo, taxa de permeabilidade e infiltração. É recomendado, também, inserir os dados pluviométricos para calibrar um modelo de predição das áreas susceptíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, D.W. Instrumentos de prevenção a desastres: as medidas não estruturais e a construção de cidades resilientes. Revista Novos Estudos Jurídicos - Eletrônica, Vol. 20 - n. 1 - jan-abr, 2015.
- COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM.; Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro: Escala 1:400.00. Brasília, 2001.
- FERREIRA, C.E.G.; Sistema de Suporte à decisão espacial aplicado à análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia Guapi-Macacu. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 2012.
- FERNANDES, M.C.; LAGÜÉNS, J.V.M.; COELHO NETTO, A.L.; O processo de ocupação por favelas e sua relação com os eventos de escorregamentos no maciço da Tijuca/RJ; GEOVEG'99, IGU-GERTEC Meeting – 'Geomorphic responses to vegetation changes: problems and remedial works'. Proceedings. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- FERNANDES, M.C.; AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L.; Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos; Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ ISSN 0101-9759 Vol. 29 – 2, p. 122-148, 2006.
- LOBATO, R.B.; Identificação de áreas suscetíveis ao processo de movimento de massa sem a visita de campo e obtida por análise multicritério. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2014.
- MARCELINO, E.V.; Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto. São José dos Campos, 2003.
- MARCELINO, E.V.; FORMAGIO, A.R.; Análise comparativa entre métodos heurísticos de mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento; Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004.
- PAIVA, M. de.; Implantação de Estacionamentos de Automóveis e Bicicletas Integrados ao Transporte Público. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2008.
- SAATY, T.L.; The analytic hierarchy process, New York: McGraw Hill, 1980.
- SECRETARIA DE ESTADO DE SANTA CATARINA.; Gestão de Risco. 2012. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/gestao-de-risco-2013/gestao-de-risco-2013.html>>. Acesso em: 15 set. 2015.
- VANACÔR, R.N.; Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2006.
- VARNES, D.J.; Landslide hazard zonation: a review of principles and practice; UNESCO, Paris, 1984.
- VESTENA, L.R.; Mapeamento da susceptibilidade a deslizamentos na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC, 2010.
- TOMINAGA, L.K. Desastres naturais: conhecer para prevenir. TOMINAGA, L.K., SANTORO, J., AMARAL R.(Orgs.) São Paulo. Instituto Geológico, 2009.