

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO HORIZONTE,
MUNICÍPIO DE ALEGRE, ES¹**

**MAPPING AREAS OF FLOODING IN HORIZONTE STREAM SUB-BASIN,
MUNICIPALITY OF ALEGRE, ES**

Rafaela da SILVEIRA²; Sanderléia de Oliveira dos SANTOS²;
Ana Paula ROSSI²; Fernando Coelho EUGENIO²; Alexandre Rosa dos SANTOS^{2,3}

RESUMO – Inundação é um evento natural, entretanto vem ocasionando cada vez mais danos humanos e materiais. O mapeamento das áreas inundáveis é importante para eliminar os riscos de ocorrência do fenômeno e estabelecer o uso adequado de determinados locais da bacia. O objetivo deste trabalho foi delimitar as áreas de risco na sub-bacia do córrego Horizonte, pertencente ao município de Alegre, ES. Para o mapeamento das áreas sujeitas à inundação foi utilizada a metodologia proposta por Saaty (1977) e os mapas foram confeccionados pelo aplicativo ArcGIS. Os resultados evidenciam que a declividade do terreno aliada à hidrografia e altitude, são importantes parâmetros de determinação de áreas propícias à inundação. Na sub-bacia em estudo, a região sul apresenta médio risco, sendo observado o contrário na região norte.

Palavras-chave: áreas de risco; modelagem; geotecnologia.

ABSTRACT – Flooding is a natural event, however it is causing more and more casualties and damage. The mapping of the wetlands is important to eliminate the risk of occurrence of the phenomenon and to determine the appropriate use of certain areas of the basin. The aim of this study was to define risk areas in the Horizonte stream subbasin, belonging to the municipality of Alegre, ES. For the mapping of areas subject to flooding the methodology proposed by Saaty (1977) was used and the maps were made by ArcGIS application. The results show that the land declivity combined with hydrography and altitude are important parameters for determining the flood prone areas. In the studied sub-basin, the southern region has average risk, whereas the opposite was observed in the north.

Keywords: risk areas; modeling; geotechnology.

¹ Recebido para análise em 03.07.13. Aceito para publicação em 04.02.14.

² Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Governador Lindemberg, 316, 29550-000 Jerônimo Monteiro, ES, Brasil.

³ Autor para correspondência: Alexandre Rosa dos Santos – mundogeomatica@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

Parte dos municípios brasileiros enfrenta problemas de inundação, principalmente aqueles situados em áreas de baixadas devido ao crescimento desordenado das cidades em locais inapropriados, causando o assoreamento de rios, com riscos de soterramento. Essa ocupação causa alterações no uso e ocupação do solo, resultando em degradação e impactos ambientais nas bacias hidrográficas e, conseqüentemente, mudanças na paisagem natural.

Geralmente, esses impactos ocorrem nas planícies de inundação, que são definidas como as áreas relativamente planas e baixas que de tempos em tempos recebem os excessos de água que transbordam ou acumulam no canal de drenagem (Castro, 1998).

A Lei Federal nº 6.766/79 determina que não haja edificações em torno de cursos d'água, rodovias, ferrovias e edutos, num espaço de 15 m de largura, já o Código Federal nº 4.771/65 e a Lei nº 12651/12 reforçam a ideia de que cursos d'água menores que 10 m de largura, devem ter proteção de 30 m de ambos os lados, porém, estas leis muitas vezes não são seguidas, principalmente em grandes cidades, onde a fiscalização não consegue dominar a rapidez do crescimento urbano, sem planejamento (Silva e Zaidam, 2004).

Com a rapidez da expansão urbana, Vieira et al. (2006) citam que as técnicas tradicionais utilizadas para monitorar a ocupação das áreas das bacias hidrográficas já não são tão eficientes em seus resultados, necessitando o emprego de novos métodos que possuam tecnologia apropriada para detectar, em tempo real, as alterações ambientais decorrentes.

Entre as ferramentas empregadas para avaliação de risco de inundações, encontram-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), sistema de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem (Santos et al., 2010), sendo fundamentais no desenvolvimento de mapas de áreas de riscos de inundação (Chapman, 1994).

Segundo Hora e Gomes (2009), a cartografia tem sido um instrumento amplamente utilizado para detecção das áreas de risco de inundação, utilizando-se de várias metodologias que têm como base a combinação de dados e informações

referentes a aspectos geológicos (litologia), geomorfológicos (declividade, hipsometria, etc.) e de uso do solo (tipologias de ocupação, tipos de vegetação, etc.). Os mapas originários de estudos cartográficos constituem um importante instrumento de prevenção, controle e gestão das inundações, gerando um zoneamento das áreas de risco (Tucci e Bertoni, 2003).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo delimitar as áreas de risco de inundação na sub-bacia do córrego Horizonte, pertencente ao município de Alegre, ES, considerada uma área de risco pela ocorrência de enchentes, (a última aconteceu em 2012), a fim de fornecer informações para que se possa direcionar um planejamento urbano, reduzindo as áreas com risco de inundações.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área em estudo compreende a sub-bacia do córrego Horizonte, afluente do rio Itapemirim, situada no distrito de Rive, município de Alegre, extremo sul do Estado do Espírito Santo, situada entre as coordenadas 41°24'55" e 41°31'50" de latitude oeste e 20°44'39" e 20°54'30" de longitude sul, com uma área de 13,17 km² (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa (inverno seco e verão chuvoso), com pluviosidade entre 1.200 mm e 1.600 mm e temperatura média de 24 °C. Possui topografia predominantemente acidentada, intercalada por reduzidas áreas planas e vegetação natural constituída por Floresta Estacional Semidecidual, pertencente ao Bioma Mata Atlântica (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2006; Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2010).

O setor primário, em Alegre, corresponde com cerca de 26,6% do PIB municipal. As atividades que geram a maior parcela do PIB são as de comércio e serviços, com 71,2%, restando para o setor secundário apenas 2,2% (Alegre, 2013).

Na área rural, segundo o Sebrae-ES, as principais atividades econômicas do município são a cafeicultura, a olericultura, a pecuária leiteira e o ecoturismo. A cultura do café é a que mais se destaca, sendo o café arábica a principal variedade.

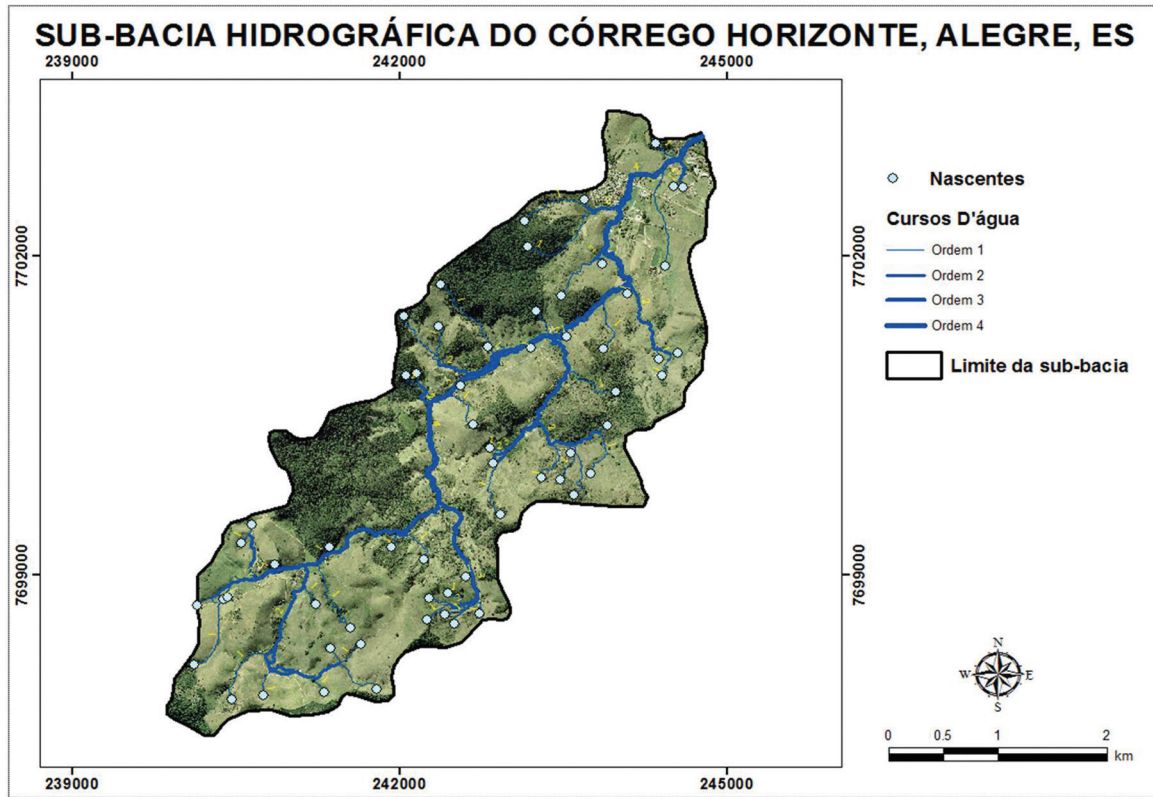


Figura 1. Localização da sub-bacia do córrego Horizonte, no município de Alegre, ES.

Figure 1. Location of the Horizonte stream sub-basin, in the municipality of Alegre, ES.

2.2 Mapeamento de Áreas de Inundação

Para o mapeamento das áreas sujeitas à inundação foi utilizada a metodologia proposta por Saaty (1977), assim, os mapas foram confeccionados com auxílio do aplicativo ArcGIS.

a. Reclassificação da elevação

Para a análise das áreas de risco de enchentes e inundações para a sub-bacia do córrego Horizonte, foram utilizadas curvas de nível com equidistância de 20 m e rede hidrográfica fotointerpretada em tela (escala de 1:50000) sobre aerofotos digitais com resolução espacial de 2 m, disponibilizada pelo Satélite GEOEYE.

Essas curvas foram então interpoladas utilizando o algoritmo de interpolação TOPO TO RASTER, a fim de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE), que posteriormente foi corrigido (função FILL) com o intuito de eliminar a ocorrência de imperfeições (depressões espúrias).

Após a correção do MDE, foi efetuada a reclassificação das alturas encontradas, em que foram atribuídos a cada classe de altitude os valores apresentados na Tabela 1. Os valores dos pesos foram obtidos por meio do script AHP customizado no aplicativo computacional ArcGIS 10.0.

Tabela 1. Valores atribuídos para cada classe de altitude.

Table 1. Values assigned to each class of altitude.

Classes de Altitude (m)	Peso
0 – 140	10
140 – 160	9
160 – 180	8
180 – 200	7
200 – 220	6
220 – 240	5
240 – 300	4
300 – 400	3
400 – 500	2
> 500	1

b. Reclassificação do uso e ocupação da terra

Através da fotointerpretação em tela, na escala de 1:2500, sobre aerofotos com resolução espacial de 2 m, foi gerado um arquivo vetorial poligonal para cada classe de uso e

ocupação da terra, totalizando 23 classes, presentes na sub-bacia do córrego Horizonte. Após a elaboração do mapa de uso e ocupação da terra, foi efetuada a reclassificação, sendo atribuídos os seguintes valores a cada classe de uso da terra (Tabela 2):

Tabela 2. Valores atribuídos para cada classe de uso da terra.

Table 2. Values assigned to each class of land use.

Classes de Uso da Terra (%)	Peso
Pastagem	9
Solo exposto	7
Várzea	9
Vegetação rala	2
Terreiro de café	7
Área degradada	7
Pomar	1
Área edificada	8
Campo sujo	2
Estrada não pavimentada	7
Área agricultada	8
Estrada pavimentada	8
Fragmento rochoso	1
Fragmento florestal	1
Reflorestamento	2
Reservatório de água	9
Gramma	9
Tanque de peixe	9
Arborização urbana	1
Pátio	3
Jardim	2
Palmaceae	2
Viveiro	3
Área urbana	8
Café	8
Capoeira	2
Hidrografia	10

c. Reclassificação da declividade

Utilizando-se o MDE corrigido, elaborou-se a declividade em porcentagem da área de estudo. Posteriormente, foi feita a reclassificação da declividade, sendo atribuídos os seguintes valores a cada classe (Tabela 3):

Tabela 3. Valores atribuídos para cada classe de declividade.

Table 3. Values assigned to each class of slope.

Classes de Declividade (%)	Peso
0 – 3	1
3 – 8	2
8 – 20	3
20 – 45	4
45 – 75	5
> 75	6

d. Modelagem do risco de inundação

Para o cálculo do risco de enchente e inundação, utilizou-se o método de Análise Hierárquica Ponderada – AHP, proposto por Saaty (1977). Esse método consiste na elaboração de uma escala de importância entre os fatores (altitude, declividade e uso e ocupação da terra).

A atribuição de valores, por comparação, é muito importante para o processo de confecção dos mapas de inundação, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido (Santos et al., 2010).

A matriz de comparação pareada desenvolvida é apresentada na Tabela 4, na qual o fator declividade foi definido como mais importante e a altitude com menor importância, entre os três fatores.

Tabela 4. Matriz de comparação dos fatores.

Table 4. Comparison matrix of factors.

Fatores	Altitude	Uso da Terra	Declividade	Pesos
Altitude	1	0,3333	0,1249	0,0880
Uso da Terra	3	1	0,3333	0,2426
Declividade	5	3	1	0,6694

As etapas necessárias para a realização do método de Análise Hierárquica Ponderada – AHP, proposto por Saaty (1977), são apresentadas na Figura 2.

O modelo proposto, validado pela razão de consistência de 0,037, disponibilizado por Santos et al. (2010), é representado por:

$$REI = 0,6370 DEC + 0,2583 UOT + 0,1047 MDE$$

em que,

REI: risco de inundação;

DEC: declividade reclassificada;

UOT: uso e ocupação da terra;

MDE: modelo digital de elevação reclassificado.

De posse do mapa preliminar de risco de enchente e inundação, com o objetivo de eliminar a ocorrência de pixels isolados não representativos da análise em estudo, foi realizada uma reclassificação com o intuito de gerar cinco classes de risco, como descritas abaixo:

Mínimo: não apresentam evidências de instabilidade de encostas (deslizamento) e de ocorrência de eventos destrutivos;

Baixo: apresenta algumas evidências de instabilidade de encostas (deslizamentos) e reduzida ocorrência de eventos destrutivos;

Médio: apresenta evidência de instabilidade de encostas (deslizamentos) e ocorrência de eventos destrutivos, durante período chuvoso;

Alto: apresenta expressivas evidências de instabilidade de encostas (deslizamentos) e ocorrência de eventos destrutivos;

Elevado: Alto Risco: apresenta elevadas evidências de instabilidade de encosta (deslizamentos) e ocorrência de eventos destrutivos.

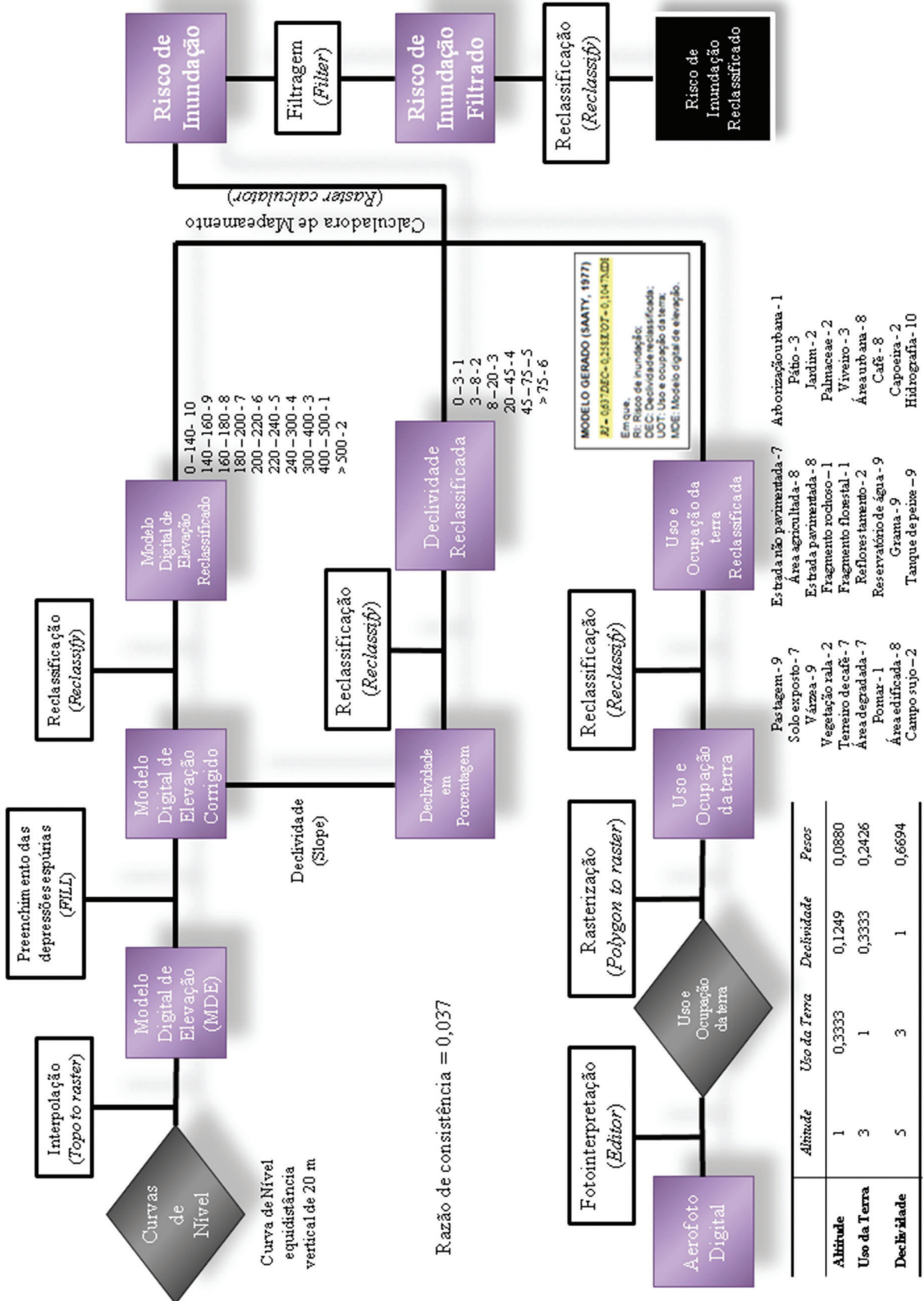


Figura 2. Fluxograma metodológico das etapas desenvolvidas.
 Figure 2. Methodological flowchart of the undertaken steps.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de risco de inundações para a sub-bacia do córrego Horizonte pode ser observado na Figura 3.

O perigo de inundação na sub-bacia do córrego Horizonte é predominantemente considerado de médio risco, principalmente no

sul e parte da região central. A oeste, esse risco tende a ser menor, estando classificado como mínimo e baixo risco de inundação, sendo um importante parâmetro para o planejamento de uso e ocupação do solo. Em contrapartida, há grandes indícios de inundação na foz do rio, na porção norte da sub-bacia, como pode ser observado na Figura 4.

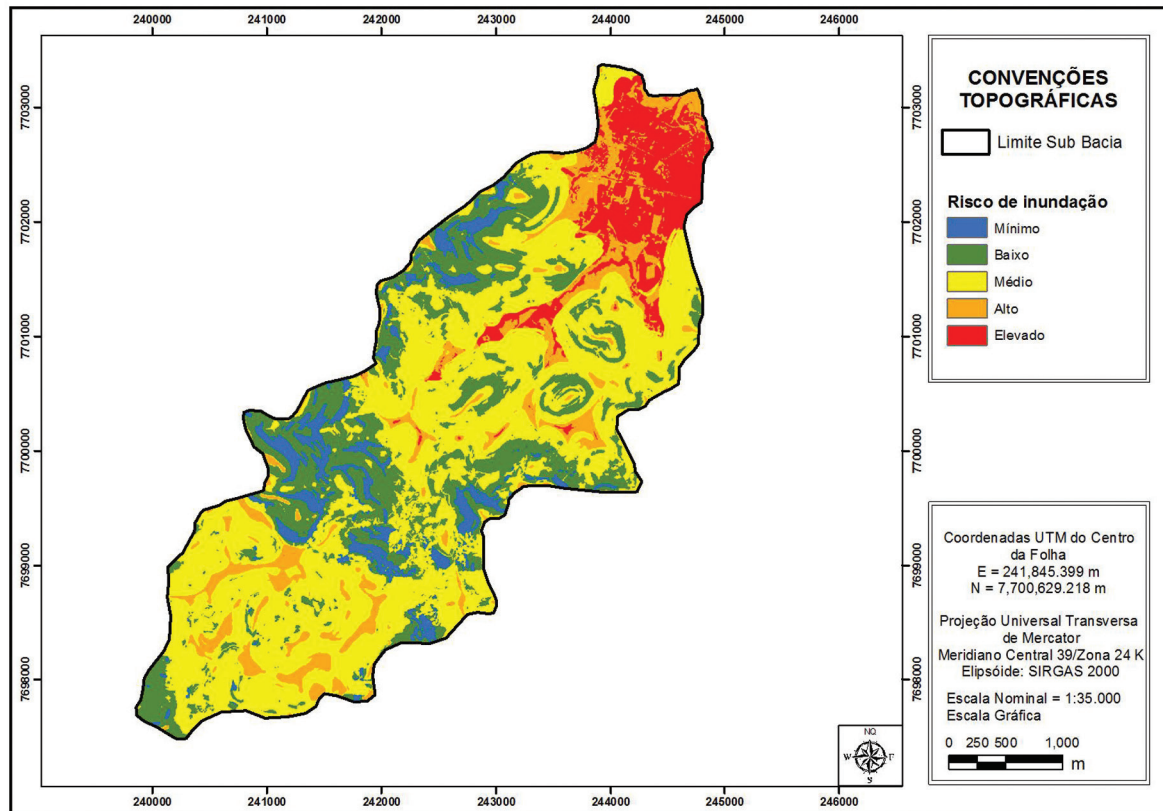


Figura 3. Risco de inundação para a sub-bacia do córrego Horizonte, município de Alegre, ES.

Figure 3. Flood risk to the Horizonte stream sub-basin, municipality of Alegre, ES.

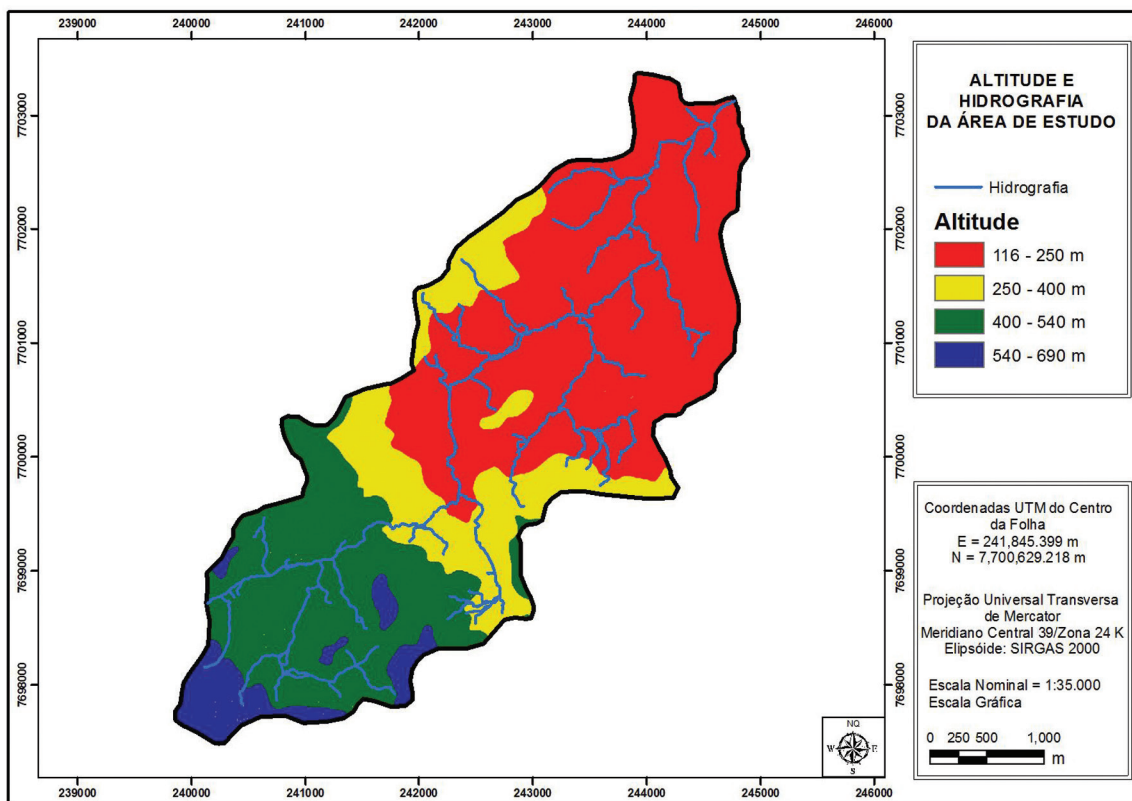


Figura 4. Altitude e hidrografia na sub-bacia do córrego Horizonte, município de Alegre, ES.

Figure 4. Altitude and hydrography in Horizonte stream sub-basin, municipality of Alegre, ES.

As menores altitudes são observadas ao norte da sub-bacia, compreendendo aproximadamente 50% da área. O predomínio de afluentes no norte, aliado às menores altitudes, pode ser o responsável pelo elevado risco de inundação da área. A água proveniente de nascentes nos topos de morros e em várias outras partes do terreno,

vai se aglomerando por todo o canal fluvial, em sentido à foz. Na época de grande concentração de chuvas, esse canal pode ser insuficiente para receber toda a água acumulada, resultando em inundações.

A declividade também contribui significativamente no processo de inundação dos terrenos (Figura 5).

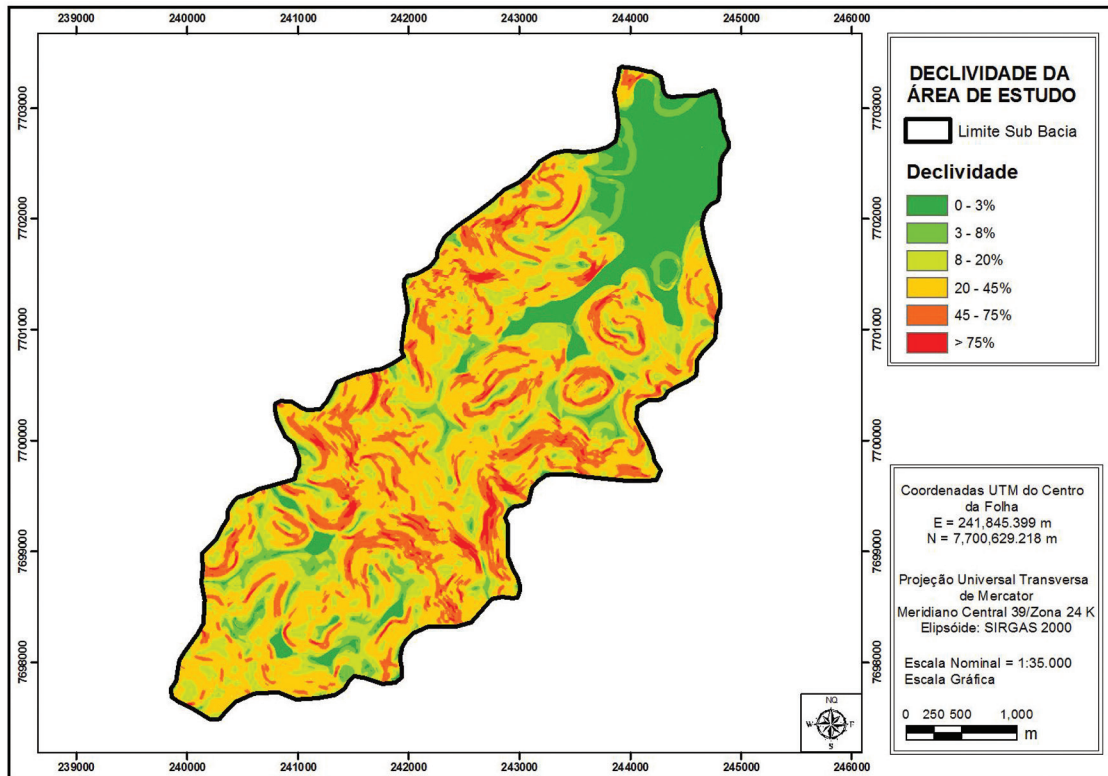


Figura 5. Declividade na sub-bacia do córrego Horizonte, município de Alegre, ES.

Figure 5. Slope in the Horizonte stream sub-basin, municipality of Alegre, ES.

É notável a presença de declividades maiores que 20% na maior parte da área da sub-bacia, sendo observado o contrário ao norte. Nessa região, há o predomínio de declividades entre 0 e 3%, sendo considerada plana. Dalfi et al. (2013), em trabalho realizado para as áreas limítrofes dos bairros desse mesmo município de Alegre, ES, afirmam que as áreas planas apresentam maior probabilidade de sofrer inundação quando comparadas com áreas declivosas, indo ao encontro do que fora apresentado no presente estudo.

Terrenos de baixada podem ter menor escoamento superficial. Assim, pode ocorrer a saturação de água nessa região, ou seja, o solo não consegue infiltrar toda a água acumulada no local, provocando as inundações.

O uso do solo também é responsável pelas inundações que ocorrem principalmente nos perímetros urbanos, pois influencia de forma direta na capacidade de absorção de água pelo solo (Figura 6).

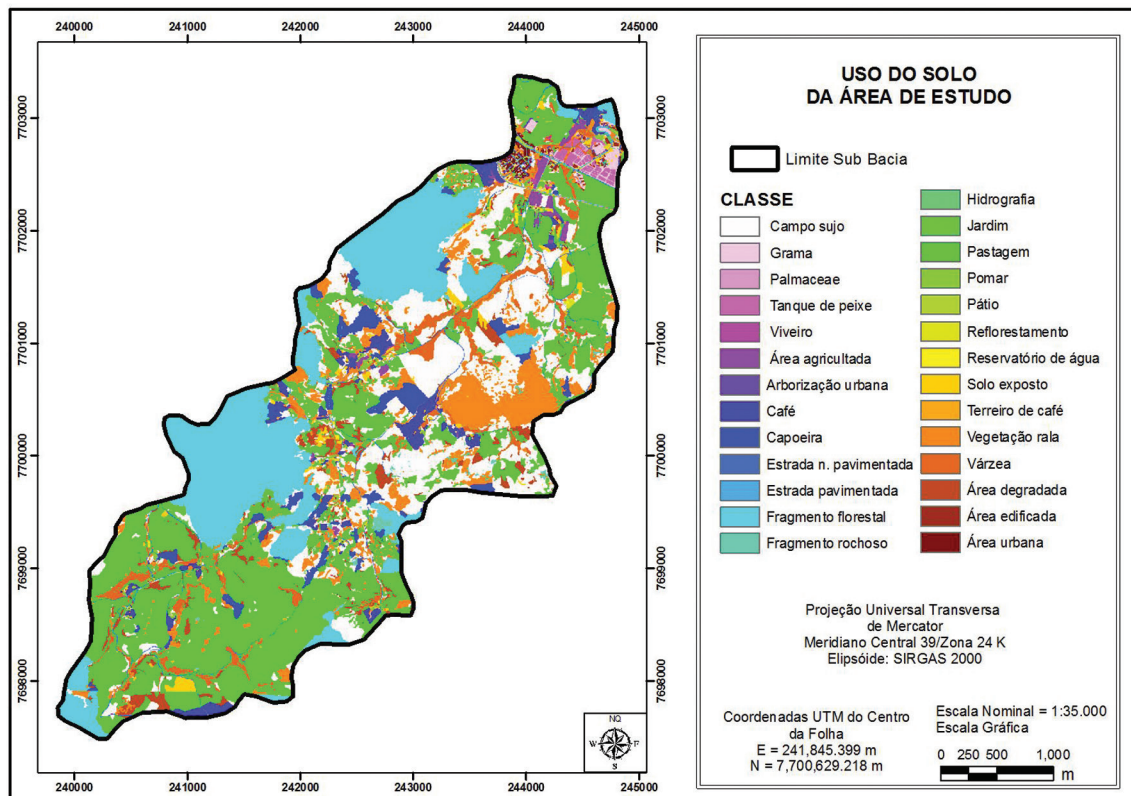


Figura 6. Uso e ocupação do solo na sub-bacia do córrego Horizonte, município de Alegre, ES.

Figure 6. Land use and occupation in the Horizonte stream sub-basin, municipality of Alegre, ES.

Nas áreas onde ocorre o menor risco de inundação, a vegetação predominante é composta por florestas nativas e fragmentos rochosos, além de jardins e pomares. Esses fragmentos florestais contribuem com a menor incidência de inundações, pois geralmente o fluxo de água é retido pela vegetação, infiltrando-se no solo, e o restante é escoado até o rio, sendo um processo lento e gradual (Tucci, 2005).

Nas áreas vulneráveis à inundação, em contrapartida, é constante o uso de pastagens, tanques de peixes, agricultura e presença de estradas pavimentadas. Essas atividades, aliadas às baixas altitudes, contribuem para o acúmulo de água no solo, reduzindo a capacidade de drenagem.

Segundo Balbinot et al. (2008), essas alterações que ocorrem na vegetação que constitui a área de preservação permanente da bacia contribuem para as mudanças no comportamento hidrológico, afetando a sustentabilidade ambiental, podendo causar as enchentes e inundações.

Nascimento et al. (2007) também afirmam que a intensificação da ocupação desordenada ocasiona diversas alterações na drenagem das

bacias, com destaque a impermeabilização do solo e a alteração na capacidade dos sistemas de drenagem, aumentando, assim, o risco de inundações.

Em pesquisas recentes, Costa et al. (2013), afirmam que ao estudar uma bacia hidrográfica na região de Viçosa, MG, em períodos diferentes no tempo, todas as classes de uso da terra (pastagem, agricultura, café, entre outras) ocuparam mais de 30% das APPs, evidenciando um aumento do uso indevido do solo. Essa expansão desordenada também é caracterizada na sub-bacia do córrego Horizonte, demonstrando-se, assim, que existe a necessidade de maiores estudos sobre o uso do solo.

Os resultados estatísticos do risco de inundação são apresentados na Tabela 5.

Como podem ser observadas, as áreas classificadas como de baixo risco são as que representam a maior parte do terreno, representando 38,44% da área total. Isso significa que proporcionam algumas evidências de instabilidade de encostas, ou seja, há poucas evidências de deslizamento e reduzida ocorrência de eventos destrutivos, como deslizamentos de terra e destruição da vegetação.

Tabela 5. Resultados estatísticos do risco de inundação.

Table 5. Statistical results of the flood risk.

Riscos	Área de Inundação e Enchente (ha)	Percentual de Inundação e Enchente em Relação à Área do Córrego (%)
Mínimo	144,42	10,92
Baixo	508,41	38,44
Médio	392,69	29,69
Alto	85,65	6,48
Elevado	191,36	14,47
TOTAL	1.322,53	100

As áreas classificadas como de médio risco também representam grande porcentagem do terreno. Estas, se somadas às áreas de baixo risco representam quase 70% do córrego.

A área da sub-bacia depara também com maior porcentagem de elevado risco quando comparada com as de mínimo risco, indicando maior propensão a deslizamentos e inundações, resultado da declividade, uso do solo e, principalmente, altitude do terreno.

4 CONCLUSÕES

Nas condições em que os estudos foram conduzidos, a análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões:

- a declividade do terreno aliada à hidrografia e à altitude, são importantes parâmetros de determinação das áreas propícias à inundação;
- a região sul da sub-bacia do córrego Horizonte apresenta médio risco de alagamento por se tratar da cabeceira do rio, onde há menor fluxo de água aliado à altitude mais elevada, sendo o contrário observado no norte;
- o uso do solo pode influenciar significativamente a capacidade de absorção e redução de danos pela velocidade da água, principalmente em áreas de baixadas próximas à foz, por isto é indispensável a permanências das áreas de proteção permanente nestes locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE. Prefeitura Municipal de Alegre. **Características econômicas:** principais atividades econômicas. Disponível em: <<http://www.alegre.es.gov.br/site/index.php/a-cidade/historia/caracteristicas-economicas>>. Acesso em: 10 out. 2013.

BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/294/400>>. Acesso em: 1 jul. 2012.

CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil:** estudos de riscos e medicina de desastres. Brasília, DF: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. Não paginado.

CHAPMAN, D. **Natural hazards**. Melbourne: Oxford University Press, 1994. 174 p.

COSTA, T.A. et al. Conflitos de uso da terra na microbacia do São Bartolomeu – Viçosa, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 281-295, 2013.

DALFI, R.L. et al. Cenários distintos no mapeamento de áreas de inundação nos bairros do município de Alegre, ES. **Caderno de Geociências**, v. 10, n. 2, p. 78-86, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

HORA, S.B.; GOMES, R.L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade e Natureza**, v. 21, n. 2, p. 57-75, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Climatologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>>. Acesso em: 25 set. 2013.

NASCIMENTO, E.A. do et al. Qualidade do meio ambiente urbano: medidas para o controle do escoamento superficial na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência e Engenharia**, v. 16, n. 1/2, p. 81-87, 2007.

SAATY, T.H.A. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SANTOS, A.R.; LOUZADA, F.L.R.O.; EUGENIO, F.C. **ARCGIS 9.3 total:** aplicações para dados espaciais. Alegre: CAUFES, 2010. 184 p.

SILVA, J.X. da; ZAIDAM, R.T. (Org.). **Geoprocessamento e análise ambiental:** aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.

SILVEIRA, R. da et al. Mapeamento de áreas de inundação na sub-bacia do córrego Horizonte

TUCCI, C.E.M. **Gestão das inundações urbanas**. [S.l.]: Global Water Partnership. Brasília, DF, 2005. (Edição em arquivo digital).

VIEIRA, P.B.H. et al. Utilizando SIG na análise urbana da microbacia do rio Itacorubi, Florianópolis-SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2006, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac2006/107.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2012.