

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO DE ALAGAMENTO DO MUNICÍPIO DE GUARUJÁ – SP UTILIZANDO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

ALEXIA BONDIOLLI MANTIS *

JHONNES ALBERTO VAZ **

RESUMO

O processo de urbanização, juntamente com o crescimento desenfreado da mancha urbana trouxeram consigo diversas consequências negativas por conta das intensas modificações do uso e ocupação do solo ao longo dos anos. Uma consequência comum são os alagamentos e enchentes, desencadeados principalmente pelas alterações do ambiente e do ciclo hidrológico. O município de Guarujá – SP enquadra-se nesta situação, tendo sua área estudada a fins de possibilitar a geração de um mapa de risco de alagamentos, através da utilização do método AHP (Analytic Hierarchy Process) integrado ao geoprocessamento. A aplicação dessa metodologia, ligada com as tecnologias disponíveis na atualidade, traz um conceito moderno de ferramenta de estudo de caso, podendo este ser realizado de maneira remota e viável, correlacionando os fatores de influência para a causa ou agravamento de alagamentos e enchentes, bem como possibilita a criação de um cenário no qual a drenagem opera com total eficiência. Tal feito permitiu a obtenção de um resultado de caráter visual e de melhor compreensão da situação enfrentada pelo município estudado, além de confirmar a praticidade da metodologia escolhida como ferramenta de estudo da área.

PALAVRAS-CHAVE

alagamentos, urbanização, AHP, geoprocessamento, SIG.

* Universidade Católica de Santos (UNISANTOS) – Centro de Ciências Exatas, Arquitetura e Engenharia, Santos-SP, Brasil, alexiamantis@gmail.com

** Universidade Católica de Santos (UNISANTOS) – Centro de Ciências Exatas, Arquitetura e Engenharia, Santos-SP, Brasil, jhannes.vaz@unisantos.br

INTRODUÇÃO

A crescente urbanização das últimas décadas trouxe modificações no uso e ocupação do solo e no ciclo hidrológico dos locais impactados e dentre os problemas mais comuns em áreas urbanizadas, as enchentes e alagamentos constam como os principais a serem enfrentados, principalmente em épocas de chuvas intensas, com destaque para as áreas mais baixas (GUIMARÃES e PENHA, 2009). A sobrecarga de um sistema de drenagem, o uso inadequado do solo, a impermeabilização de um local e a urbanização caótica provocam uma redução da capacidade natural de armazenagem de deflúvios (escoamento superficial da água), fazendo com que a água ocupe outros locais, o que tende a provocar alagamentos e inundações (CANHOLI, 2015). Os alagamentos tem como definição a acumulação momentânea de água em certa área, sendo a mesma causada por sistema de drenagem deficiente ou que apresente problemas, podendo ser agravada ou não por processos fluviais e serem localizados ou afetar grandes áreas, dependendo da dimensão das complicações do sistema de drenagem do local e da intensidade da chuva (BRASIL, 2007). Já enchentes são definidas por Pompêo (2000) como fenômenos naturais que tem como principal causador as precipitações de elevada magnitude. Modificações a montante (direção do ponto mais alto/ nascente do curso d'água) de áreas urbanizadas podem agravar ainda mais as enchentes, provocando o transbordamento de cursos d'água, estes causando inundações (TUCCI e BERTONI, 2003).

Os sistemas de drenagem urbana são um preventivo contra alagamentos, enchentes e inundações, porém é comum, seja por falta de estudos da área, informações ou viabilidade, a drenagem não ser efetiva, tendo como consequência o alagamento do local, prejudicando o trânsito, comércio e qualidade de vida da população (CASTRO, 2003). Além disso, cidades litorâneas são mais suscetíveis a enchentes, por conta de estarem próximas do nível do mar e sob influência das marés, como eventos de ressaca, como é o caso do município de Guarujá-SP. Situado na Região Metropolitana da Baixada Santista, o município do Guarujá está estabelecido na Ilha de Santo Amaro, tal qual conta com uma área de 142.589 km² e população de 311.230 hab. (IBGE, 2015).

O estudo e caracterização de uma área é de suma importância para garantir o bem-estar da população e evitar impactos e desastres, bem como a detecção e prevenção de áreas de risco de enchentes. Dessa forma, fatores relacionados com a caracterização da área, bem como a obtenção de informações acerca de seu regime hidrológico para posterior estudo, tornam-se uma etapa inicial para as ações de localização e prevenção de riscos de alagamentos, enchentes e inundações.

Com o desenvolvimento e avanço da tecnologia, existem atualmente diversos sistemas que podem auxiliar a identificação e definição das áreas de risco e de seu mapeamento, sendo estes alinhados com o avanço e facilidade de acesso cada vez maior de amplos conjuntos de geotecnologias, principalmente, pelos dados obtidos através de geoprocessamento e pelo Sistemas de Informações Geográficas (SIG), os quais representam ferramentas indispensáveis e essenciais para mapeamentos e identificação das áreas com risco de alagamentos e enchentes com dados atuais (SCCOTI e MENEZES, 2014). Com base nessas tecnologias, o presente estudo visa mapear, através da utilização do método proposto por Saaty (1977), conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), as áreas do município de Guarujá que tendem a apresentar risco de alagamentos, através da inclusão de diversos fatores de risco de alagamentos

em um só plano, a fim de criar um resultado com maior confiabilidade, tendo em vista a utilização de diversos dados provenientes de diferentes características do local. Além disso, com base nessas tecnologias, o presente estudo possibilitou, por meio de dados pluviométricos do município estudado e do Método dos Polígonos de Thiessen, a geração de um mapa de isoietas e o cálculo da média ponderada anual de precipitação do município do Guarujá - SP a fim de demonstrar a praticidade do geoprocessamento como ferramenta no estudo e caracterização de áreas, além de gerar dados hidrológicos atualizados que podem servir de base para diversos estudos.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo tem como local definido o município de Guarujá, este com área equivalente a 142.589 km² e localizado no estado de São Paulo, com o objetivo de determinar as áreas com risco de ocorrência de alagamentos, as áreas com maior probabilidade de ocorrência e os impactos de modificações em fatores relacionados com a drenagem local, dividindo o trabalho em 3 etapas. A primeira e segunda etapa consistiram no mapeamento dessas áreas e respectiva atribuição de notas, realizado através do método de análise hierárquica, AHP (*Analytic Hierarchy Process*), este proposto por Saaty (1977), o qual atribui valores de importância para as características do local estudado, permitindo a criação de uma hierarquia, determinada de acordo com a influência que cada fator tem de ocasionar ou intensificar alagamentos, sendo os fatores de maior nota os que possuem maior influência.

Hora e Gomes (2009) afirmam que os elementos que apresentam maior importância num estudo de risco de alagamento fazem referência aos aspectos geológicos (pedologia), geomorfológicos (declividade, hipsometria) e de uso do solo (classificação das ocupações e coberturas vegetais). Portanto, no presente trabalho, foram analisados, através de multiplataforma de sistema de geoprocessamento (GIS) do *software* Quantum GIS (QGIS) (SHERMAN *et al.*, 2016), os fatores de quatro planos do município do Guarujá:

- Mapa pedológico: adquirido através de shapefile disponibilizado pela CPRM;
- Mapa de declividade: elaborado através de dados SRTM disponibilizado pela EMBRAPA;
- Mapa hipsométrico: elaborado através de shapefile fornecido pela EMBRAPA;
- Mapa de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal: elaborado através da geração de arquivos vetoriais poligonais para representar as classificações do local, sendo que estas informações serão analisadas através da interpretação dos dados contidos no shapefile do ano de 2015 do Guarujá, disponibilizado pela Agem, de Uso e Ocupação do Solo, classificação das águas fornecido pelo IBGE e áreas com risco de erosão, shapefile disponibilizado pela CPRM.

A cada fator representado, foi atribuída uma nota e, a cada plano representado, um peso, este obtido através de uma matriz de comparação pareada, na qual foram utilizados os valores estabelecidos por Saaty (1991) no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparações do AHP.

Escala Numérica de Importância	Definição Conceitual de Importância	Descrição Conceitual da Importância
1	Igual	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Média	O elemento comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Consistente	A experiência e o julgamento favorecem um elemento em relação ao outro.
7	Forte	Um elemento pode ser considerado fortemente favorecido em relação ao outro, podendo tal importância ser evidenciada na prática.
9	Absoluta	O elemento comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores descritos acima	Utilizado quando o julgador sentir dificuldade para definir entre dois níveis de importância adjacentes.

Fonte: Elaborado a partir de Saaty (1991).

Borges *et al.* (2015) estabelecem como pesos para os quatro planos (fatores) utilizados no presente estudo os valores representados na Tabela 1, devido a compatibilidade entre os dados deste estudo com os apresentados por Borges *et al.* (2015).

Tabela 1 - Pesos.

Fator	Peso
Uso e Ocupação do Solo	0,1219
Tipo de Solo	0,0569
Declividade	0,5579
Altitude	0,2633

Fonte: Borges *et al.*, 2015.

Os valores obtidos foram analisados no *software* QGIS, utilizando o modelo matemático proposto por Hora e Gomes (2009), também descrito por Dias *et al.* (2012) como:

Onde “A_{ij}” representa risco de alagamento de cada célula da matriz, “P” o peso atribuído ao plano, transposto o percentual para escala de 0 a 1, “N” a nota do fator na escala de 0 a 10 e “k” uma constante equivalente a 1.

Aos *shapefiles* de uso e ocupação do solo e pedologia, foram atribuídas notas aos polígonos referentes a fatores que tendem a ser influenciadores ou agravadores de alagamentos e enchentes, como apresentados nas Tabelas 2 e 3 respectivamente:

Tabela 2 – Notas estabelecidas para o uso e ocupação do solo.

Uso do Solo	Nota
Água	10
Rio Permanente	10
Eixos de Rio MD	10
Eixos de Rio Ms	10
Área Antropizada (alta impermeabilização)	10
Sistema Viário	10
Área Antropizada (baixa/média impermeabilização)	8
Canal/Vala	8
Orla/Praia/Prainha	8
Solo Exposto/Vegetação Rasteira	8
Áreas Industriais	7
Áreas Institucionais	7
Costão Rochoso	5
Áreas Florestadas e Fragmentos de Vegetação	1
Risco de Erosão Alto	10
Risco de Erosão Baixo	2

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 3 – Notas estabelecidas para o tipo de solo.

Tipo de Solo	Nota
Gleissolos	9
Espodossolos	5
Cambissolos	3

Fonte: Autor, 2017.

As notas definidas para Uso e Ocupação do Solo tem como principal determinante a impermeabilização e exposição do solo e presença de corpos d'água. Cada elemento constatado no plano foi analisado levando em conta sua contribuição para ocasionar e/ou intensificar alagamentos e enchentes. Proximidade de corpos d'água, locais asfaltados ou totalmente impermeabilizados e áreas com vegetação retirada (expostas) tem papel decisivo na geração de focos de alagamentos, porém áreas que possuem vegetação enraizada contribuem com a

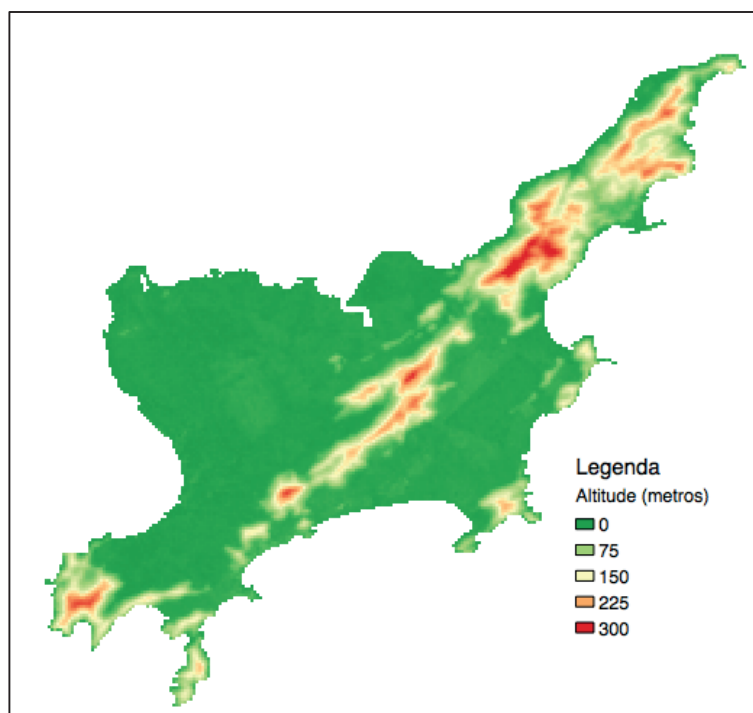
penetração da água no solo e assim, não são consideradas responsáveis por alagamentos e enchentes (MAGALHÃES *et al.*, 2011). Também é decisivo destacar que, como afirmado por Canholi (2015), a manutenção dos canais e valas é de suma importância para o seu perfeito funcionamento, sendo que a falta deste tende a comprometer a drenagem do local.

As notas definidas para tipo de solo levam em consideração suas respectivas características referentes a umidade e capacidade de drenagem (WEISS, 2012). Conforme Santos *et al.* (2006), o gleissolo possui, dentre os tipos de solos presentes no município de Guarujá, maior umidade e menor taxa de drenagem, “encontrando-se permanente ou periodicamente saturados por água” (SANTOS *et al.*, 2006, p. 82). Em relação à drenagem, o espodossolo, segundo Santos *et al.* (2006, p. 80), “é muito variável” se em comparação com o cambissolo. Apesar do cambissolo variar sua drenagem de acordo com o local de origem, este apresenta melhores características de permeabilidade se em comparação com os outros solos presentes no município (SANTOS *et al.*, 2006).

Feito isso, os *shapefiles* em questão foram transformados de arquivos vetoriais para arquivos raster, através da ferramenta “*v.to.rast.attribute*” do *software* QGIS, onde é escolhida a camada de valores referente às notas atribuídas a cada elemento da camada como fonte de valores para a camada raster gerada.

Em seguida, para a elaboração dos *shapefiles* de altitude e declividade, foram utilizados dados SRTM disponibilizados pela EMBRAPA. Os dados contêm as informações do relevo (MDE), assim, ao classificar os valores de altitude através do método de banda de falsa cor, pode-se visualizar melhor as informações relacionadas a altitude do local estudado, como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Hipsometria do município de Guarujá com renderização de falsa cor.



Fonte: Autor, 2017.

Através da ferramenta de “extrair recorte”, é realizado o corte do *shapefile* para que os dados contidos no raster sejam contidos em um novo *shapefile*, dentro dos limites do município do Guarujá, depois foi utilizada a ferramenta “*r.reclass*” para reclassificar as informações de altitude para notas contidas no raster, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Notas estabelecidas para a altitude.

Altitude (m)	Nota
0 – 5	10
5 – 25	5
25 – 50	3
50 – 100	2
100 – 150	1
150 – 200	1
200 – 250	1

Fonte: Autor, 2017.

Os dados foram reclassificados através de um arquivo texto (*reclass rules text*), como demonstra a Figura 2.

Figura 2 – Arquivo de texto para o “*r.reclass*” de altitude.

```
0.0000 thru 5.0000 = 10
5.0001 thru 25.0000 = 5
25.0001 thru 50.0000 = 3
50.0001 thru 100.0000= 3
100.0001 thru 150.0000= 1
150.0001 thru 200.0000= 1
200.0001 thru 250.0000= 1
end|
```

Fonte: Autor, 2017.

As notas definidas referem-se ao fato de que, “quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas” (MAGALHÃES *et al.*, 2011, p. 65). Pode-se então concluir que áreas com altitudes mais próximas do nível do mar tem maior suscetibilidade a alagamentos.

Para a geração do *shapefile* de declividade, os dados SRTM obtidos no *website* da EMBRAPA foram utilizados como base para a criação de um arquivo de informações de declividade em porcentagem, sendo que o raster utilizado passou pelo mesmo processo de recorte que o raster de altitude (MIRANDA, 2017). Para isso, foi utilizada a ferramenta “*r.slope.aspect*” para converter os dados de MDE contidos no raster recortado para um raster de declividade.

Com o raster de declividade obtido, foi utilizada a ferramenta “*r.reclass*” para reclassificar os valores do raster para aqueles estabelecidos como padrão pela EMBRAPA, que define valores e padrões de declividade, classificando os terrenos de 0 a 3% como “plano”, de 3 a

8% “suave ondulado”, de 8 a 20% “ondulado”, de 20 a 45% “forte-ondulado”, de 45 a 75% “montanhoso” e acima de 75% “forte montanhoso” (EMBRAPA, 1979).

Porém, nessa etapa o arquivo de texto foi modificado, a fim de reclassificar os valores contidos no *shapefile* para as notas definidas para o fator declividade (Tabela 5).

Tabela 5 – Notas estabelecidas para a declividade.

Declividade (%)	Nota
0 – 3 (plano)	10
3 – 8 (suave ondulado)	9
8 – 20 (ondulado)	5
20 – 45 (forte ondulado)	3
45 – 75 (montanhoso)	1
> 75 (escarpado)	1

Fonte: Borges *et al.*, 2015.

Assim, o arquivo texto (*reclass rules text*) transformou-se como demonstra a Figura 3:

Figura 3 – Nota das classes de declividade.

```
0.0000 thru 3.0000 = 10
3.0001 thru 8.0000 = 7
8.0001 thru 20.0000 = 5
20.0001 thru 45.0000 = 2
45.0001 thru 75.0000 = 1
75.0001 thru 2000.0000 = 1
end
```

Fonte: Autor, 2017.

As notas atribuídas ao fator declividade, como apresentadas por Borges *et al.* (2015) fazem referência ao fato de o escoamento superficial ser influenciado pela declividade, esta que determinará a velocidade do mesmo (ARANTES, 2016). A velocidade do escoamento é fato determinante para “a magnitude dos picos de enchente e a maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos” (ARANTES, 2016, p. 5). Deste modo, locais com menor declividade (planos) tendem a sofrer com o acúmulo de água decorrente da diminuição da velocidade do escoamento superficial proveniente de áreas com maior declividade (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Ao concluir essa etapa, todas as informações espaciais e mapas gerados estão em formato raster e seus respectivos valores referem-se apenas a valores de notas, estes utilizados no cálculo do risco de alagamento na segunda etapa.

Na segunda etapa, os arquivos raster obtidos na primeira etapa foram utilizados como base de dados no cálculo demonstrado pela equação seguinte, através da ferramenta “calculadora raster”:

$$\text{Risco de inundação} = 0,0569 * \text{tipo de solo} + 0,1219 * \text{uso do solo} + 0,2633 * \text{altitude} + 0,5579 * \text{declividade}$$

O resultado dessa equação foi a obtenção de um mapa com as notas respectivas ao risco de alagamentos e enchentes respectivas à influência dos quatro fatores/planos obtidos na primeira etapa. As notas geradas foram classificadas, referente ao grau de risco de alagamentos e enchentes, em intervalos de: 0 (nulo), 1 a 3 (baixo), 4 a 7 (moderado), 8 a 9 (alto) e 10 (muito alto).

Também foi gerado um mapa semelhante, porém apresentando diferentes notas no fator Uso e Ocupação do Solo, estas levando em conta um cenário diferenciado, onde os sistemas de drenagem tem funcionamento caracterizado como excelente, além da permeabilização de áreas antes consideradas de alta taxa de impermeabilização, assim como tomar as áreas de solo exposto como áreas com devida contenção e plantio de vegetação que permita uma maior infiltração da água da chuva no solo, como demonstra a Tabela 6.

Tabela 6 – Notas modificadas para o uso e ocupação do solo

Uso do Solo	Nota
Água	10
Rio Permanente	10
Eixos de Rio MD	10
Eixos de Rio Ms	10
Área Antropizada (alta impermeabilização)	8
Sistema Viário	8
Área Antropizada (baixa/média impermeabilização)	5
Canal/Vala	2
Orla/Praia/Prainha	8
Solo Exposto/Vegetação Rasteira	5
Áreas Industriais	5
Áreas Institucionais	5
Costão Rochoso	5
Áreas Florestadas e Fragmentos de Vegetação	1
Risco de Erosão Alto	10
Risco de Erosão Baixo	2

Fonte: Autor, 2017.

A terceira etapa do trabalho consistiu na utilização os dados obtidos no CEMADEN (2017), a respeito das precipitações mensais, onde foram selecionadas 7 estações pluviométricas automáticas que apresentavam dados em todos os meses do ano de 2016, sendo estas as estações Morrinhos, Jardim das Palmas, Enseada, Balneário Pernambuco, Pereque 2, Jardim São Miguel e Jardim Helena Maria. Estes dados foram utilizados na elaboração de um mapa de isoietas e na geração das respectivas áreas de influência de cada posto pluviométrico pelo Método dos Polígonos de Thiessen, obtidos através do uso de grade interpolada a partir das precipitações médias anuais dos 7 postos pluviométricos, a fim de destacar as áreas com maior intensidade de precipitações.

Os dados foram inseridos no QGIS como arquivo separado por vírgula (CSV), com suas respectivas coordenadas, estas integradas nos dados baixados do CEMADEN (2016), sendo utilizados na criação no *software* QGIS de polígonos de Voronoi. Tal método leva o nome de Polígono de Voronoi em homenagem ao matemático russo Georgy Fedoseevich Voronoi, sendo esses polígonos utilizados em estudos de precipitação na Hidrologia através do método de Polígonos de Thiessen (THIESEN, 1911).

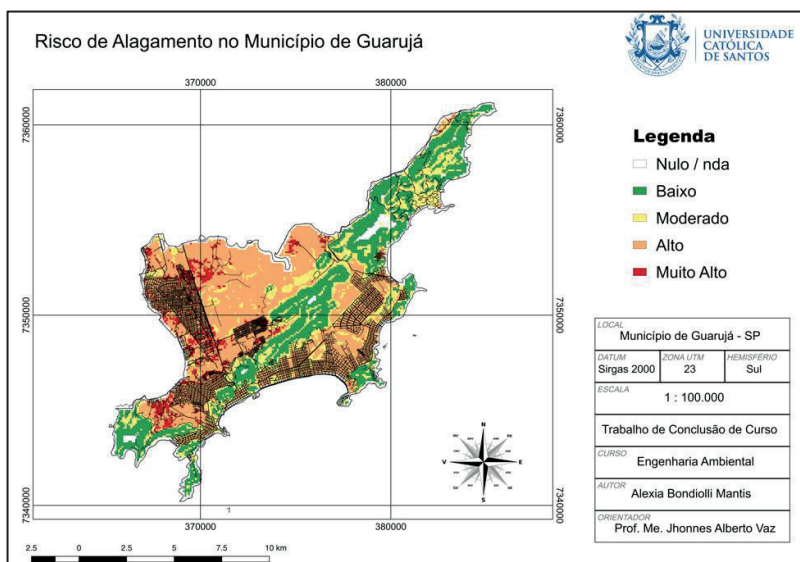
A geração das isoietas foi realizada através da ferramenta “complemento de interpolação” na opção “interpolação” de arquivo raster, este habilitado no “gerenciador” do QGIS. Para a determinação da precipitação total e da precipitação por área de influência, foram utilizadas as áreas obtidas através do polígono de Voronoi, onde as mesmas foram inseridas na ferramenta “calculadora de campo”. É selecionada então a ferramenta “estatística básica para campos numéricos” na opção “vetor”, onde é obtida a soma total de precipitação, esta utilizada novamente na “calculadora de campo” para realizar o cálculo da área dividida pela soma total. Foi criado um novo campo na tabela de atributos para o cálculo do total de precipitação de cada estação pela área ponderada, este representando a média ponderada da precipitação registrada por cada estação em sua área de influência.

Os mapas obtidos nessa etapa foram sobrepostos aos mapas obtidos na segunda etapa, a fim de obter uma reflexão relacionada as áreas mais afetadas pelos alagamentos e a intensidade da chuva.

Resultados

Os resultados da primeira etapa da metodologia fazem referência aos quatro fatores utilizados no cálculo do risco de alagamentos, consistindo nos mapas de Uso e Ocupação do Solo, Pedológico, Hipsométrico e de Declividade. A segunda etapa da metodologia, que consistiu na sobreposição das informações contidas nos mapas anteriores, classificados em notas e ponderados de acordo com a influência de cada fator ao risco de alagamentos e enchentes, resultou na Figura 4, representado o risco de alagamentos e enchentes no município de Guarujá.

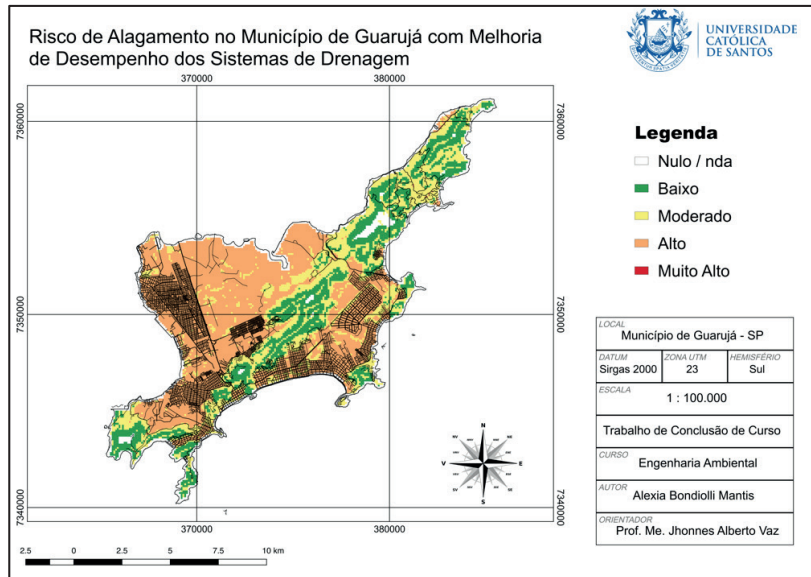
Figura 4 – Mapa de risco de alagamentos no município de Guarujá



Fonte: Autor, 2017.

O segundo mapa gerado com as notas modificadas está demonstrado na Figura 5, onde sua diferenciação com o mapa anterior e da situação atual (Figura 4) é evidente.

Figura 5 – Mapa modificado de risco de alagamentos no município de Guarujá



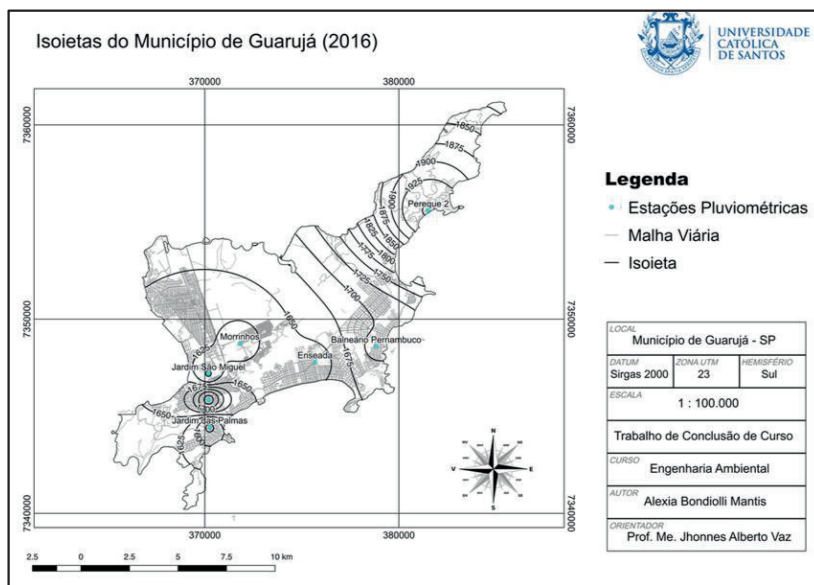
Fonte: Autor, 2017.

Os dados relacionados as estações pluviométricas automáticas do município de Guarujá possibilitaram a geração de um mapa de isoietas do município, este utilizado no processo de discussão e obtenção de uma conclusão relacionada a situação do local (Figura 6).

Os resultados referentes a terceira etapa da metodologia foram comparados e sobrepostos ao mapa de risco de alagamento a fim de fornecer uma nova perspectiva, auxiliando no processo de elaboração da compreensão e reflexão do presente trabalho, como demonstra a Figura 7.

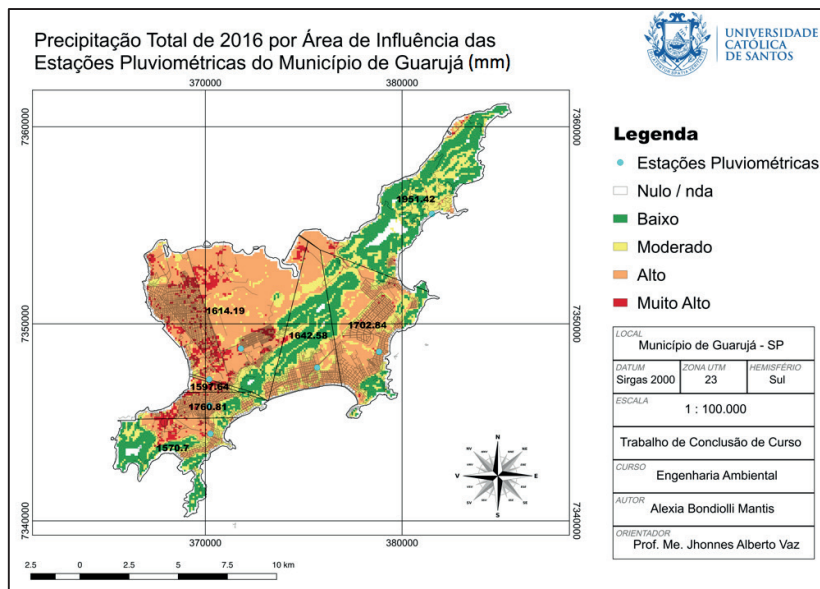
Outro dado extraído referente a etapa tratada foi a média ponderada anual de precipitação do município do Guarujá, levando em conta sua área de influência. O valor foi obtido foi de 1702,27 mm, este gerado através da somatória da média ponderada de cada estação pluviométrica, esta obtida através da multiplicação do valor total de precipitação de cada estação pela respectiva porcentagem da área de influência em relação a área total.

Figura 6 – Mapa de isoietas do município de Guarujá



Fonte: Autor, 2017.

Figura 7 – Mapa de precipitação total anual por estação pluviométrica do município de Guarujá (2016)



Fonte: Autor, 2017.

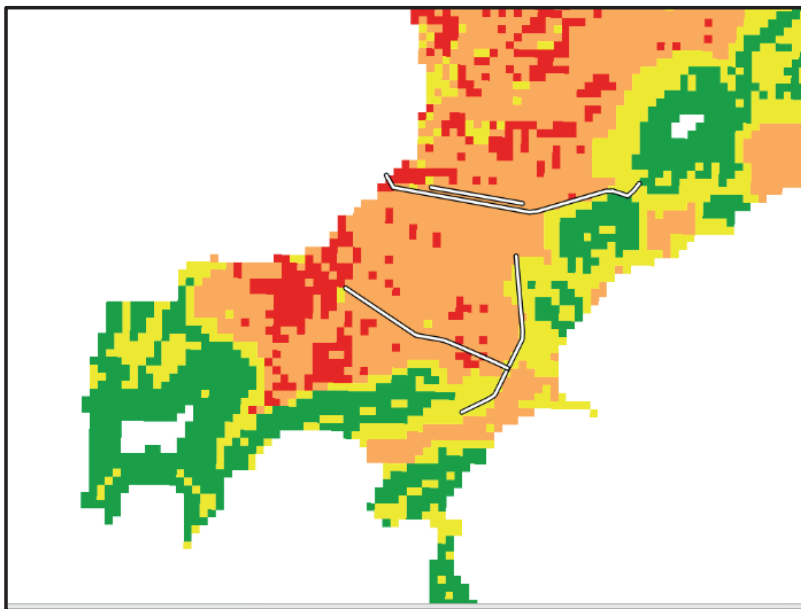
Discussão

A partir da Figura 5 é possível observar o quanto os fatores escolhidos no presente trabalho influenciaram para o surgimento de áreas com alto risco de alagamentos, sendo o destaque para as concentrações urbanas localizadas na faixa de planície próxima do nível do mar. A falta ou ausência de planejamento da expansão urbana do município pode ser um dos principais motivos para a ocorrência do problema, porém a impermeabilização quase total de

muitas áreas urbanizadas é um fator a ser considerado preocupante para os dias atuais, sendo que o problema (alagamentos e enchentes), bem como suas causas e fatores contribuintes, não é desconhecido pela humanidade e pela ciência. Além disso, a intensidade da chuva no município e nas áreas de influência das estações pluviométricas deve ser levada em conta. Em caso de um evento climático extremo, mais áreas além das classificadas como de risco muito alto podem ser afetadas, ampliando os estragos e sua respectiva intensidade. O fato do município estar localizado na faixa litorânea também é um fator a ser considerado, podendo relacionar o aumento do nível do mar com a intensificação dos alagamentos e enchentes, apesar de grande parte da área residencial localizada próxima da faixa de areia apresenta risco alto de alagamento, esta tem a maior probabilidade de alagamentos caso haja um evento de maré cheia ou aumento do nível do mar relacionado com uma precipitação intensa ou repentina de grande proporções, por conta de um evento climático.

Outro ponto levantado nessa etapa foi a verificação da coerência do mapa obtido pelo método AHP com a realidade da situação do município estudado. De acordo com o Jornal A Tribuna (2017), foram registrados, no mês de janeiro de 2017, alagamentos em diversos trechos de avenidas principais e ruas, com destaque para a Rua Funchal e as Avenidas Ademar de Barros, dos Caiçaras e Miguel Alonso Gonzáles (Figura 8).

Figura 8 - Localização das vias com registro de alagamentos.



Fonte: Autor, 2017.

Outra fonte de dados a ser comparada com o mapa gerado foi o documento pertinente a Guarujá (2012), o Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Guarujá, este de difícil compreensão e visualização dos resultados, mas possibilitando uma comparação com os resultados atingidos pelo presente trabalho. Este fato demonstra a necessidade da obtenção de um resultado visual e que compreenda toda a extensão do município estudado. Apesar de apresentarem compatibilidade de resultados, o caráter visual resultante do uso do SIG, pertinente a este trabalho, facilitou o entendimento e o estudo e geração de uma resposta ao resultado obtido.

Com a modificação dos fatores relacionados a drenagem do município de Guarujá demonstradas na Figura 5, é possível obter uma visão clara de como a eficiência da drenagem e dos fatores que influenciam no escoamento superficial estão diretamente relacionados a geração de alagamentos e enchentes. Um modelo mais eficiente do sistema de drenagem poderia diminuir a exposição do município a este tipo de risco, sendo muito mais válido e viável do que modificações relacionadas aos outros fatores, como tipo de solo, altitude ou declividades.

No mapa da Figura 7, foi demonstrada a área de influência de cada estação pluviométrica, bem como o valor bruto da precipitação total registrada por cada unidade no ano de 2016. Esse valor, bem como o valor de precipitação média (ponderado), possibilitam a visualização da quantidade de chuva que foi registrada em 2016, bem como elevar a atenção para locais que, apesar de não apresentarem a maior porcentagem de áreas de risco muito alto de alagamentos, apresentem elevada precipitação, como é o caso da área de influência da estação pluviométrica Pereque 2, com o registro de 1951,42 mm de precipitação. Nesse caso, as áreas de risco alto de alagamentos devem receber semelhante atenção que as de risco muito alto, por conta de sua alta pluviosidade, fato explicado por conta da umidade da região, resultante de sua proximidade com o mar e presença de áreas florestadas.

Uma questão levantada ao longo da análise dos resultados obtidos está relacionada ao impacto dos alagamentos nas áreas onde existe a presença de comunidades carentes. Apesar do problema afetar todos os municípios, principalmente por existirem zonas de alto risco em vias de único acesso a certas partes da cidade, a qualidade de vida nas áreas de baixa renda afetadas acaba por ter uma queda considerável, levando em conta questões de saúde, mobilidade e economia afetadas pela ocorrência de alagamentos. Os alagamentos afetam toda a mobilidade de uma cidade, trazendo desconforto e consequências para a população e comércio do município.

A viabilidade das tecnologias escolhidas também auxiliou na obtenção do resultado do presente estudo e demonstrou ser uma ferramenta prática para estudos relacionados ao risco de alagamentos e enchentes de um local, gerando uma resposta visual e de fácil entendimento geral, auxiliando na tomada de decisões relacionadas a drenagem, além de fornecer informações para estudos de redução de riscos, a fim de diminuir perdas de capital devido a paralização de atividades durante eventos de chuva, danos ao patrimônio e desvalorização imobiliária. O baixo custo e a rapidez da geração de mapas de risco de alagamentos através da utilização do método AHP relacionado ao geoprocessamento, se em comparação com estudos de caso mais complexos, demonstrou ser uma alternativa excelente para estudos relacionados ao tema apresentado neste e para a compreensão geral da situação na qual o município se encontra podendo este ser utilizado em estudos mais complexos e precisos, eliminando etapas desnecessárias, diminuindo o tempo e custo de realização ao definir os locais de interesse.

O fato de ser um resultado gerado de maneira remota aponta que o método escolhido pode não apresentar 100% de precisão, mas fornece um resultado muito próximo da situação atual, sendo possível a obtenção de uma conclusão a respeito do município de Guarujá - SP e as áreas que apresentam alto risco de alagamentos e enchentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação das áreas que apresentam risco de alagamentos através de representação cartográfica, a detecção e prevenção de possíveis desastres, bem como o monitoramento dos principais elementos desencadeadores, são de importante relevância para os centros urba-

nos, a fim de que sejam evitadas perdas (econômicas, ambientais e de vidas). O método AHP, alinhado ao geoprocessamento, comprovou-se como uma ferramenta prática para isso, tornando este e outros estudos mais viáveis e rápidos, além de fornecer um resultado de fácil compreensão (tanto no âmbito profissional, quanto no público) e uma visão geral do problema abordado, facilitando o entendimento das relações de diversos fatores na causa ou agravamento de alagamentos, enchentes e inundações. O resultado obtido fornece material de interesse para a análise da qualidade da mobilidade do município, além de ser uma fonte de informações com diversas aplicabilidades.

O panorama ideal para a cidade de Guarujá – SP, devido ao fato da ocorrência da expansão urbana sem o devido planejamento, seria corrigir as falhas no sistema de drenagem antes de quaisquer ampliações novas, focando na melhora da qualidade ambiental e de vida dos munícipes, tendo em vista que um investimento em obras de drenagem e reestabelecimento das características interativas naturais dos ciclos hidrológicos no municípios geraria um impacto econômico muito menor que o produzido por alagamentos e enchentes a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- AGEM. Agência Metropolitana da Baixada Santista. Disponível em: <http://www.agem.sp.gov.br>. Acesso em: 20 set 2017.
- ARANTES, E. J. *Bacia Hidrográfica*. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (Disciplina de Hidrologia), 2016. 8 p.
- BORGES, M. P.; CRUIVINEL, A. S.; FLORES, W. M. F.; BARBOSA, G. R. *Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – João Pessoa SBSR, XVII, 2015. 5897-5903 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios*. Carvalho, C.; Macedo, E. S.; Ogura, A. T. (Orgs.). Brasília. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2007.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 301p.
- CASTRO A. L. C. *Manual de desastres: desastres naturais*. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. 174p.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Mapa interativo*. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Série de dados dos pluviômetros (2016)*. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2017.
- DIAS, J. E.; GOES, M. H. B.; SILVA, J. X.; GOMES, O. V. O. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda–RJ. *Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 6 ed., 2012. 145-177 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 9 mar.2017.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247 p.
- GUARUJÁ. Prefeitura Municipal. *Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Guarujá*. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão Financeira. Vol. 1. Guarujá, outubro de 2012. 104 p.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de Muriaé-MG, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas. XIV *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, 2009. 3875-3882 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 & Natureza*, v. 21, n. 2, 2009. 57-75 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 mar. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data em 1º de julho de 2015*. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm. Acesso em: 08 mar. 2017.

JORNAL A TRIBUNA. *Chuva provoca pontos de alagamento em toda a região: são esperados temporais com potencial para alagamentos, transbordamentos e deslizamentos de terra*. Santos, 12 de janeiro de 2017. Disponível em: <http://www.atribuna.com.br/noticias/noticias-detalle/cidades/regiao-tem-pon-tos-de-alagamento-e-previsao-do-tempo-indica-mais-chuva/?cHash=7cec3a2bbf5ea939ecb65337016c-c1d7>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. *Cadernos de Geociências*, v. 8, n. 2, 2011. 63-70 p.

MIRANDA, E. E.; (Coord.). *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 4 nov. 2017.

POMPÊO, A. C. Drenagem urbana sustentável. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. Volume 5 n.1 jan/mar 2000, 15-23p.

SAATY, T. L. *Método de Análise Hierárquica*. Makron Books do Brasil Editora Ltda. e Editora McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro-RJ, 1991. 367 p.

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

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRETERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SCCOTI, A. A. V.; MENEZES, D. J. Mapeamento da suscetibilidade e perigo de inundação em Rosário do Sul-RS. XXVI *Congresso Brasileiro de Cartografia*, Gramado. Eixo, 2014.

SHERMAN, G. E.; SUTTON, T.; BLAZEK, R.; HOLL, S.; DASSAU, O.; MORELY, B.; MITCHELL, T.; LUTTMAN, L. *Quantum GIS User Guide - Version 2.8 "Wien"*. 2016. Disponível em: <http://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em 15 mar. 2017.

THIESSEN, A. H. *Precipitation averages for large areas*. *Monthly weather review*, v. 39, n. 7, 1911. 1082-1089 p.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH, 2003. 150 p.

WEISS, R. *Identificação de fragilidade ambiental quanto a enchentes e desmoronamentos no perímetro urbano de Santa Maria-RS por geotecnologias*. Tese de Doutorado. Master Thesis in Geomática. Santa Maria, Brasil. Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 108 p.

ABSTRACT

Urbanization processes, together with the unbridled growth of the urban spot, have brought with it several negative consequences due to the intense changes in land use and occupation over the years. One of the most frequent consequences are the floods, triggered mainly by changes in the environment and the hydrological cycle. The city of Guarujá - SP fits in this

situation, having its area studied in order to allow the generation of a flood risk map, through the use of the AHP (Analytic Hierarchy Process) method integrated to the geoprocessing. The application of this methodology, coupled with the technologies available today, brings a modern concept of case study, which can be carried out in a remote and viable way, correlating the influence factors for the cause or aggravation of floods, as well as enabling the creation of a scenario in which drainage operates with total efficiency. This made it possible to obtain a visual result and a better understanding of the situation faced by the studied city and the social, environmental and economic impacts caused by the deficiency of the anthropic drainage systems and the absence of the natural ones in the studied area.

KEYWORDS

floods, urbanization, AHP, geoprocessing, GIS

