

**Geotecnologias aplicadas para o mapeamento de áreas de risco de
inundações e alagamentos em áreas urbanizadas**

César Clemente Pires dos Santos

Me. em Arquitetura e Urbanismo, UNIVAG/PUC Campinas, Brasil
cezarbiologo@gmail.com

Manoel Lemes da Silva Neto

Professor Dr. Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC Campinas, Brasil
manoel.lemes@puc-campinas.edu.br

RESUMO

Eventos naturais são processos ou fenômenos potencialmente prejudiciais que ocorrem na biosfera, e podem causar sérios danos socioeconômicos nas comunidades expostas. O cenário urbano atual da Capital Mato-grossense, Cuiabá revela a forma desordenada de apropriação desse espaço urbano, tornando o mesmo susceptível a ações de eventos naturais, ocasionado prejuízos e prejudicando o cotidiano da população. Para isso o mapeamento de áreas de risco de inundação, enchentes e alagamentos utilizando sistema de informação geográfica (SIG) é um importante instrumento na prevenção, controle e gestão de eventos naturais. A aplicação da ferramenta permitiu a identificação de áreas com alto risco de inundação, enchentes e alagamentos, mostrando que a técnica tem grande potencial para ser utilizada no planejamento urbano por meio do zoneamento destas áreas de risco.

PALAVRAS-CHAVE: SIG. Áreas de Risco. Inundação.

1 INTRODUÇÃO

O Relatório de Pesquisa de Informações Básicas Municipais elaborado em 2017 apontou que 1.729 municípios declararam ter sido atingidos por alagamentos nos últimos anos, tendo a maior concentração na Região Sul (53,9%) e a menor, no Nordeste (13,2%). O relatório também apontou que quanto maior a classe de tamanho da população dos municípios, maior a proporção destes atingidos por enchentes e alagamentos. Esses eventos trazem, como seqüela, níveis abusivos de deterioração ambiental, tornando esse espaço urbano susceptível a ações de eventos naturais, gerando prejuízos, tornando-se comuns e evidentes no cotidiano urbano (OLIVEIRA, 2004).

Tucci (2007) conceitua o termo enchentes como fenômenos naturais, que ocorrem regularmente nos cursos d'água devido às chuvas elevadas, em áreas urbanas, elas ocorrem devido à grande intensidade das chuvas por um longo período, dando origem aos transbordamentos dos cursos d'água em regiões a montante das áreas urbanas, ou ainda, na própria região urbanizada. Já os alagamentos ocorrem por meio do escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado, gerando danos materiais para população que ocupa geralmente as áreas consideradas de risco.

Na perspectiva de identificação de áreas sujeitas a inundação, a cartografia das áreas de risco surge como ciência essencial, por propiciar a avaliação do risco por meio do emprego de diversas fontes de dados. Para isso os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vêm ganhando importância, já que essa ferramenta garante introduzir, discutir, analisar e apresentar os dados cartográficos em formato 2D e 3D, gerando, assim, resultados de baixo custo para análise de desastres naturais, com diferentes níveis de desenvolvimento (RAMÍREZ et al, 2005, p.260).

Menezes e Scoti (2012) apontam que a utilização do SIG pode auxiliar na identificação, mapeamento e modelagem de áreas de risco, relacionando-se com os avanços tecnológicos, devido a facilidade de acesso e gratuidade, através da disposição de bases de dados, quanto pela facilidade operacional, tornando essa ferramenta indispensável e essencial.

Com esta finalidade vários estudos ganham importância, dentre eles as pesquisas desenvolvidas por BARTELS (1998), onde os referidos autores evidenciam que tem sido recorrente para os processos de gerenciamento e análise de risco o auxílio do SIG, principalmente, pelos gestores de políticas públicas, pois a ferramenta demonstra maior agilidade e acurácia. O SIG possui

uma gama de atributos e funções capazes de realizar a integração dos dados e gerar cálculos cumulativos para mapeamento de risco (COZZANI, 2006).

2 OBJETIVO

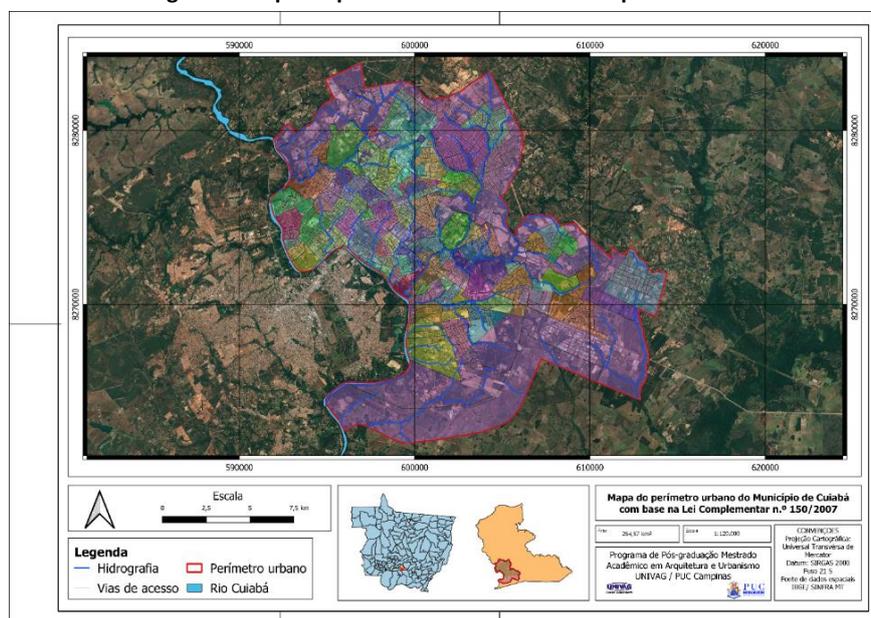
O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia em ambiente SIG para o zoneamento de risco de inundação e alagamentos na área urbana do município de Cuiabá, Mato Grosso.

3 MÉTODO DE ANÁLISE

3.1 Área de estudo

A Capital do Estado de Matogrosso Cuiabá (figura 1) está situada na mesorregião centro-sul mato-grossense, especificamente, na microrregião Cuiabana. A sede do município está situada junto às coordenadas geográficas 15°35"56" de latitude sul e 56°06"01" de longitude oeste (IPDU, 2007). Sua população estimada é de 612.547 habitantes, com densidade demográfica de 157,66 hab/km² e crescimento populacional de 2,77% ao ano.

Figura 1: Mapa do perímetro urbano do Município de Cuiabá.



Fonte: O próprio autor

3.2 Procedimentos operacionais

Para compor a base de dados e geração do modelo estrutural, utilizou-se a base de dados de relevo, altimetria, declividade, e curvatura vertical e horizontal do terreno referente ao meio físico disponíveis gratuitamente no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE – TOPODATA, 2020).

O mapa hipsométrico foi obtido através do mosaico de imagens com resolução espacial de 30 metros, gerado pela junção das folhas 14S58, 14S57, 14S55, 15S58, 15S57, 15S55, 16S58, 16S57 e 16S55 do INPE/TOPODATA, e em seguida foi executado o processo de reclassificação utilizando o algoritmo *Rreclass* no QGIS 3.18, que permite a reclassificação altimétrica do relevo em intervalos regulares definidos (tabela 1), permitindo assim o melhor entendimento da topografia da área de estudo visando destacar porções específicas do terreno, e indicar que quanto maior a altitude menor será a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas (FLORINSKY, 2002).

A declividade representa a máxima inclinação com a horizontal sendo calculada, em graus ou porcentagem, como o ângulo entre os planos tangente e horizontal em um determinado ponto da superfície. O mapa de declividade foi gerado através do mosaico do MDE TOPODATA com auxílio da ferramenta *Slope* de análise de terreno em ambiente SIG. Neste estudo optou-se pela representação da declividade em porcentagem (tabela 1), tendo como produto um arquivo gerado com a nomenclatura *Slope*, seguindo as cinco classes de declividade de acordo com os critérios da EMBRAPA (1979).

Para confecção do mapa pedológico foi utilizado a Folha SD.21, que representa a região da Baixada Cuiabana. Este arquivo está disponível para download gratuito no site do sistema de geociências do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e apresenta informações do sistema pedológico da região. A pedologia foi escolhida para compor um dos atributos para realização do presente projeto devido ao grau de fragilidade, o tipo de solo apresentarem um papel relevante no processo de suscetibilidade à inundação, utilizando como base os materiais geológicos descritos por Ross (1994) conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Classificação do grau de fragilidade associada a eventos de natureza hidrológica.

Solo	Classe de altitude (m)	Declividade (%)	Graus de Fragilidade	Peso
Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo, textura argilosa	> 270	>15	Muito baixa	1
Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo, textura média/argilosa	240 – 270	7,5 – 15	Baixa	2
Latossolo Vermelho amarelo, Nitossolos, Aluissolos, neossolos textura média/argilosa	210 – 240	5 – 7,5	Média	3
Plintossolo com cascalho, Cambissolo, Argissolo Vermelho amarelo	180 – 210	2,5 – 5	Alta	4
Neossolos com cascalho	150 – 180	0 – 2,5	Muito Alta	5

Fonte: O próprio autor.

Para Valeriano (2008) a curvatura vertical expressa o formato da vertente, e o caráter convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil. Já a curvatura horizontal expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal, traduzindo o caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo. Valeriano (2008) propôs a combinação destes dois modelos distintos para fornecer meios interpretativos de maneira equivalente, combinando dos dois tipos de curvatura. Para interpretação dos modelos de curvatura do terreno de maneira equivalente, foi utilizada a combinação dos dois arquivos distintos através do somatório dos mesmos utilizando a ferramenta *Raster Calculator* no QGIS 3.16. A somatória dos modelos de curvatura pontuam a forma

côncavo-convergente com maior valor (10), indicando a máxima concentração e acúmulo do escoamento, e o valor mínimo (2) representando a forma convexa-divergente, indicando a máxima dispersão do escoamento para as outras formas de terreno.

Hill e Cutter (2001), descrevem que a vulnerabilidade social, está associada as características demográficas dos grupos sociais que os tornam mais ou menos suscetível aos impactos adversos dos perigos. Embora existam várias definições do termo vulnerabilidade está pesquisa optou pela definição de vulnerabilidade descrita pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, que descreve vulnerabilidade como uma condição ou processo resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala dos danos causados pelo impacto de um determinado perigo. Para gerar o mapa temático de vulnerabilidade social foram selecionadas oito variáveis censitárias conforme utilizado Goerl et al (2012) para construir um índice de vulnerabilidade social, sendo três relacionados as características demográficas (D) provenientes da planilha Basico_CUIABA.xls, um relacionado a características de dependência/idade proveniente da planilha Responsável01_CUIABA.xls (Td), uma associada a educação proveniente da planilha Pessoa01_CUIABA.xls (A) e um relacionado a renda proveniente da planilha ResponsavelRenda_CUIABA.xls (R).

No quesito dependência adotou-se como limite a população abaixo de 12, que de acordo com o Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA) são considerados como crianças, sendo totalmente dependentes de seus pais ou responsáveis perante a lei e sociedade, e a população acima de 65 anos, considerando que estas pessoas são idosas conforme descrito na Organização Mundial de Saúde (OMS).

Com base nestas variáveis foi formulado o Índice de Vulnerabilidade social (IVS) conforme descrito na fórmula abaixo:

$$IVS = Dd + Nm + Mm + Td + A + R / IDHM$$

Onde, Dd é a densidade demográfica em hectares, Nm é o número de moradores no setor censitário, Mm é média de moradores por residência, Td é a porcentagem da taxa de dependência dos idosos e jovens, A é a porcentagem de analfabetos acima de 12 anos, R é a porcentagem da soma dos responsáveis sem rendimento ou com até 1 salário-mínimo, e IDHM é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Cuiabá que é de 0,785. O valor do IVS foi classificado em 5 classes com pesos estabelecidos em escala crescente variando de 0 a 1.

Para o mapeamento da suscetibilidade de inundação e alagamentos, foi utilizado o método de Análise Hierárquica (AHP), criado por Saaty (1977), que consiste em construir uma escala de importância entre os elementos analisados para em posterior colocá-los em uma matriz de relacionamento para ser feita uma comparação pareada, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre os mesmos, sendo eles: a hipsometria; a declividade; formas de curvatura do terreno, pedologia e Vulnerabilidade social.

Após validação dos pesos estatísticos por meio do cálculo da razão de consistências (RC) foi realizado a modelagem espacial do mapa de risco multiplicando o peso estatístico encontrado pelo seu respectivo fator pelo peso das classes analisadas, utilizando a ferramenta *Raster Calculator* no Sistema de Informação Geográfico QGIS.

Para validação das faixas de suscetibilidade georreferenciadas pelo mapa de risco elaborado pelo método AHP, procedeu-se primeiramente à busca de informações sobre inundações

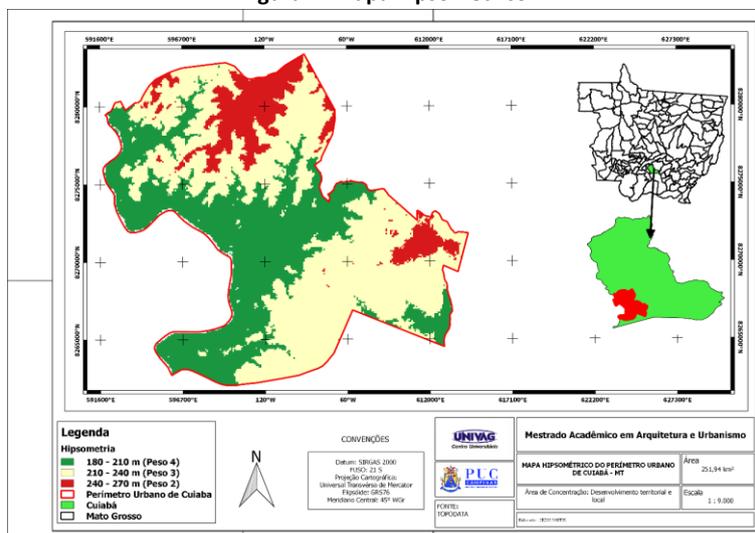
alagamentos e enchentes no Município de Cuiabá, entre os anos de 1974 — “Data da primeira enchente ocorrida no município” — até o ano de 2019. A validação ocorreu por meio de levantamentos bibliográficos, matérias jornalísticas e acervos de notícias digitais.

Cada evento ocorrido foi cadastrado em formato de tabela CSV “comma-separated-values”, contendo dados referentes ao ano de ocorrência, aos bairros afetados, ao volume precipitado e à fonte de informação extraída. Para geração do mapa de alagamentos e inundações com base na série histórica de ocorrências, o arquivo CSV foi importado no Software QGIS 3.18, assim como foi utilizada a técnica de interpolação do tipo Ponderação pelo Inverso da Distância (Inverse Distance Weighting - IDW).

4 RESULTADOS

A hipsometria do perímetro urbano de Cuiabá variou entre 180 m (AltMin) a 270 m (AltMax) em relação ao nível do mar, sendo representado por 38,41% de altitudes variando entre 210 e 240 metros, seguido por 38,21% de altitudes entre 180 e 210 metros (figura 2). Associados aos eventos de origem fluvial, as áreas com altitudes entre 180 e 210 metros são consideradas de fragilidade elevada devido a dinâmica de deslocamento da água, que tende a escoar das altitudes mais elevadas, para as áreas com menores altitudes, caracterizadas como áreas de fundo de vale no perímetro urbano de Cuiabá.

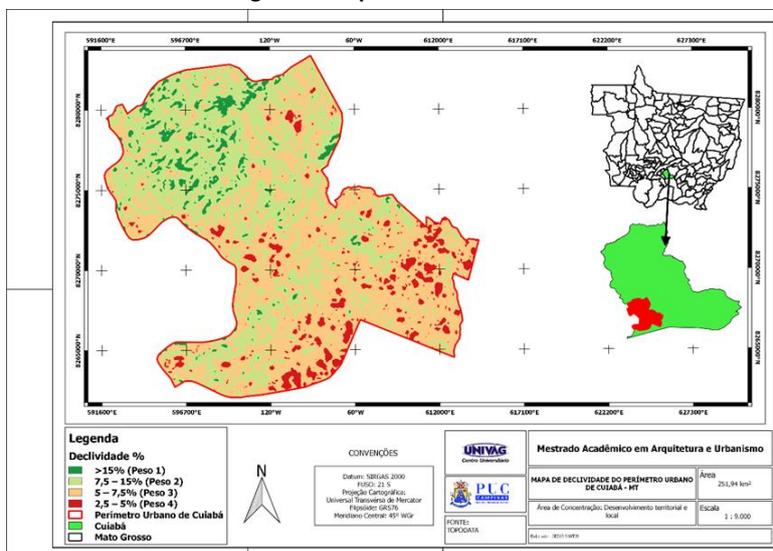
Figura 2: Mapa hipsométrico.



Fonte: O próprio autor.

Associada a dinâmica dos eventos de origem fluvial, a declividade está relacionada à velocidade do escoamento superficial, e ao tempo de concentração que a água ficará na região. Foi identificado que áreas como relevo plano e com declividades que variam entre 2,5 e 5% (figura 3) são altamente susceptíveis à ocorrência de cheias e alagamentos, devido ao acúmulo de escoamento. Em contrapartida as áreas com relevo ondulado superior a 15%, podem desencadear o carreamento de sedimentos e o transporte em alta velocidade da água proveniente dos eventos de origem fluvial para as regiões mais planas.

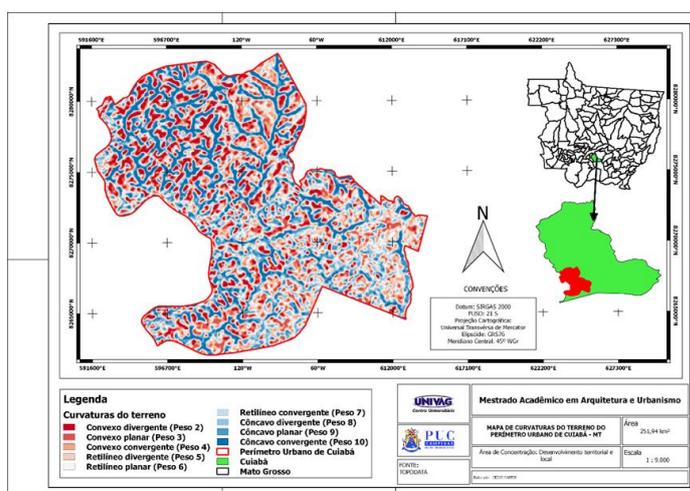
Figura 3: Mapa de declividade.



Fonte: O próprio autor.

Segundo Valeriano (2008), as curvaturas representam a caracterização das formas do terreno, às quais se associam diretamente as dinâmicas hidrológicas e de transporte de materiais sólidos. Assim, verificou-se que 40% da área estudada apresentou vertentes com curvatura horizontal convergente ou muito convergente, ou seja, vertentes com maior potencial ao transporte de partículas maiores e à erosão pluvial. Em relação à dispersão do escoamento superficial, o perímetro urbano de Cuiabá apresentou 12,41% das áreas mapeadas com essas características, sendo representadas pelas classes convexas de curvatura do terreno, distribuídas espacialmente em áreas de dispersão com altitudes mais elevadas e relevo ondulado, representadas pela coloração em tons de vermelho na figura 4.

Figura 4: Mapa de Curvaturas do Terreno.

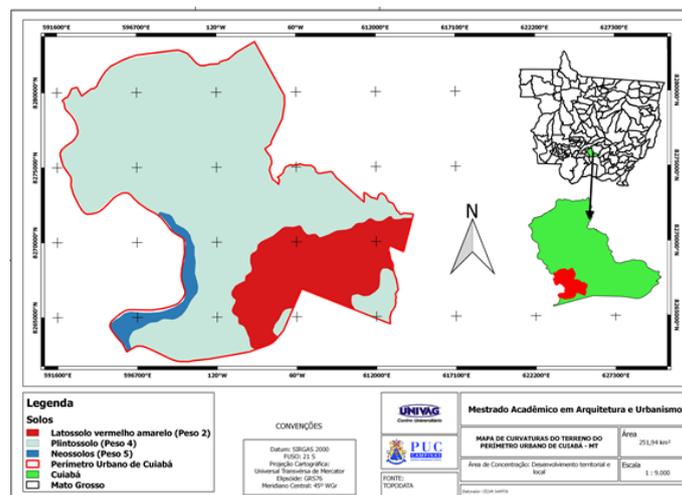


Fonte: O próprio autor.

O mapa pedológico do perímetro urbano de Cuiabá apresentou 69,23% de solo classificado como plintossolo (fig. 5). Este solo possui característica arenosa com elevada textura e baixa

permeabilidade, sendo classificado como de alto grau de fragilidade por possuir baixa taxa de infiltração, que potencializa os processos erosivos e carreamento de sedimentos em períodos de chuvas intensas e prolongadas, originando movimentos de massa e assoreamento.

Figura 5: Mapa de Pedológico.

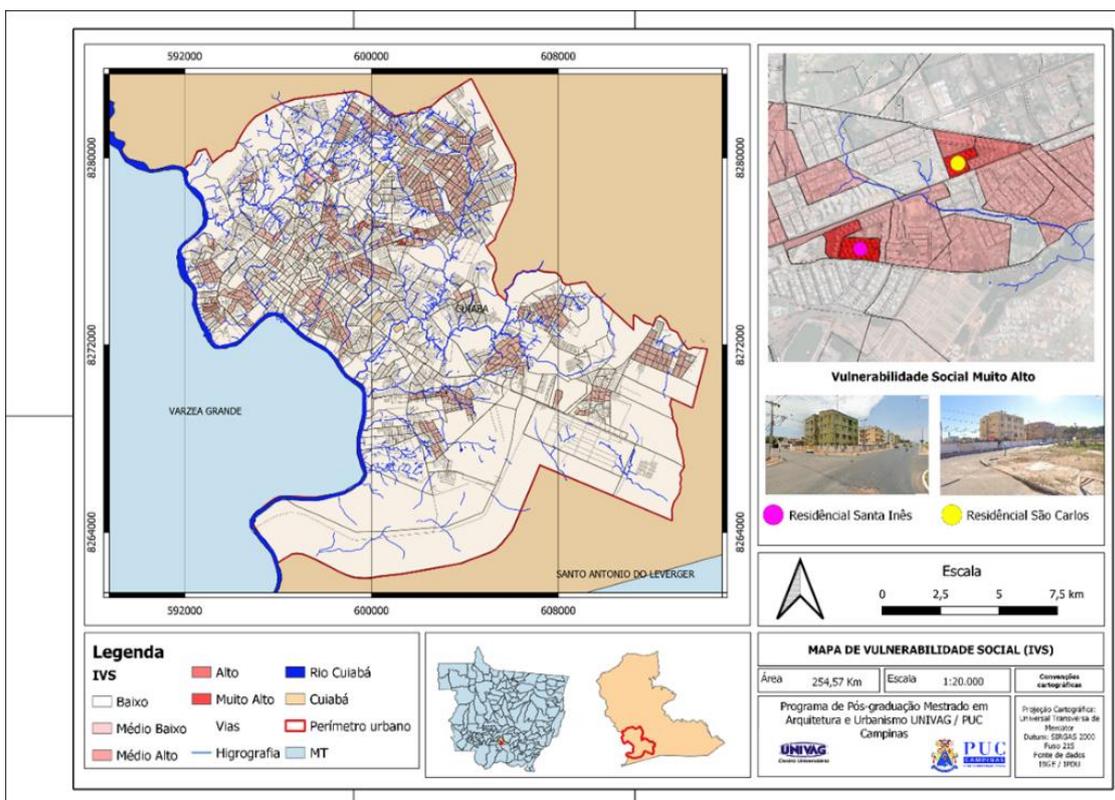


Fonte: O próprio autor.

Os valores de IVS classificados como muito alto estão distribuídos nos setores censitários “510340310420038” e “510340310420033” denominados Residencial Santa Inês e Residencial São Carlos (figura 6). Os valores que categorizaram estes setores como de muito alta vulnerabilidade social foram a densidade urbana com valores acima de 328,878 hab/ha, a média de 2,34 moradores por habitação, 14,89% da população abaixo de 12 anos e 2,5% acima de 65 anos, com a taxa de dependência em torno de 17,47%. Outros indicadores foram considerados importantes para classificação de vulnerabilidade social desses setores, como por exemplo a renda, sendo representada por 18,59% de pessoas sem salário e 10% recebendo apenas um salário-mínimo. A variável de analfabetismo obteve a maior representatividade chegando à representação de quase a metade da população residentes nestes setores (46,30%). Analisando da distribuição espacial da vulnerabilidade a classe “Alta” obteve o percentual de 1,03%. Esse percentual está associado a habitações de interesse social, como os conjuntos verticais Terra Nova, Paiaguás e Alvorada. Os indicadores que caracterizaram esses conjuntos habitacionais como de alta vulnerabilidade foram: a média de 2,51 moradores por unidades habitacionais, a taxa de dependência entre 22% e o indicador de renda de 17%, que representa a população que não possui renda ou que ganham até um salário-mínimo. Outro fator relevante é a taxa de analfabetismo está em torno de 46%.

Ao associar a vulnerabilidade social elaborada com base no estudo desenvolvido por Goerl et al (2012), ficou evidente, como no estudo dos autores, que setores com alta vulnerabilidade não possuem associação com a fragilidade ambiental, mas sim com o risco de exposição dos habitantes ao perigo de eventos de origem natural, devido as circunstâncias de exposição. Isto demonstra que, nas inundações e alagamentos, as características físicas da bacia hidrográfica têm um papel mais importante na construção do risco do que as condições de vulnerabilidade.

Figura 6: Índice de vulnerabilidade social do perímetro urbano do Município de Cuiabá.



Fonte: O próprio autor.

Os resultados obtidos através da modelagem espacial utilizando os parâmetros físicos para análise da fragilidade (declividade, hipsometria formas de terreno e pedologia), e parâmetros socioeconômicos para análise de vulnerabilidade (densidade urbana e o índice de vulnerabilidade social) e o estabelecimento de pesos estatísticos por meio da matriz de decisão AHP deram origem ao mapa de suscetibilidade de áreas de inundação e alagamentos, permitindo identificar o grau de influência de fator ao risco de alagamentos e enchentes no perímetro urbano do município de Cuiabá (figura 7).

A modelagem evidenciou que 41,54% do perímetro urbano de Cuiabá apresentou áreas de alta suscetibilidade de ocorrência de alagamentos ou enchentes (tom azul claro), seguido por 29,53% das áreas classificadas como de média suscetibilidade (tom pastel) como evidenciado na figura 5. Por sua vez, a categoria muito baixa (tom vermelho) representou apenas 1,12% das áreas mapeadas, tendo como características específicas o relevo acima de 15%, altitudes que variam entre 240 e 270 metros e o modelo de curvatura de terreno convexo-divergente que possui a máxima dispersão de fluxo de água. A classe de risco muito alta obteve sua representatividade, em torno de 15,79% de todo perímetro urbano de Cuiabá, nestes pontos estão associados majoritariamente, os cursos d'água e fundos de vale que envolvem a parte urbanizada do município (figura 7). Entre as características potenciais que deram origem as áreas de alta suscetibilidade estão a elevação variando entre 180 e 210 metros, o relevo plano com declividade variando entre 2,5 e 5%, os fundos de vale com a predominância de neossolos com alto grau fragilidade hídrica e o modelo de curvatura côncavo-convergente que propicia o acúmulo de movimentos de massa nas áreas de relevo plano.

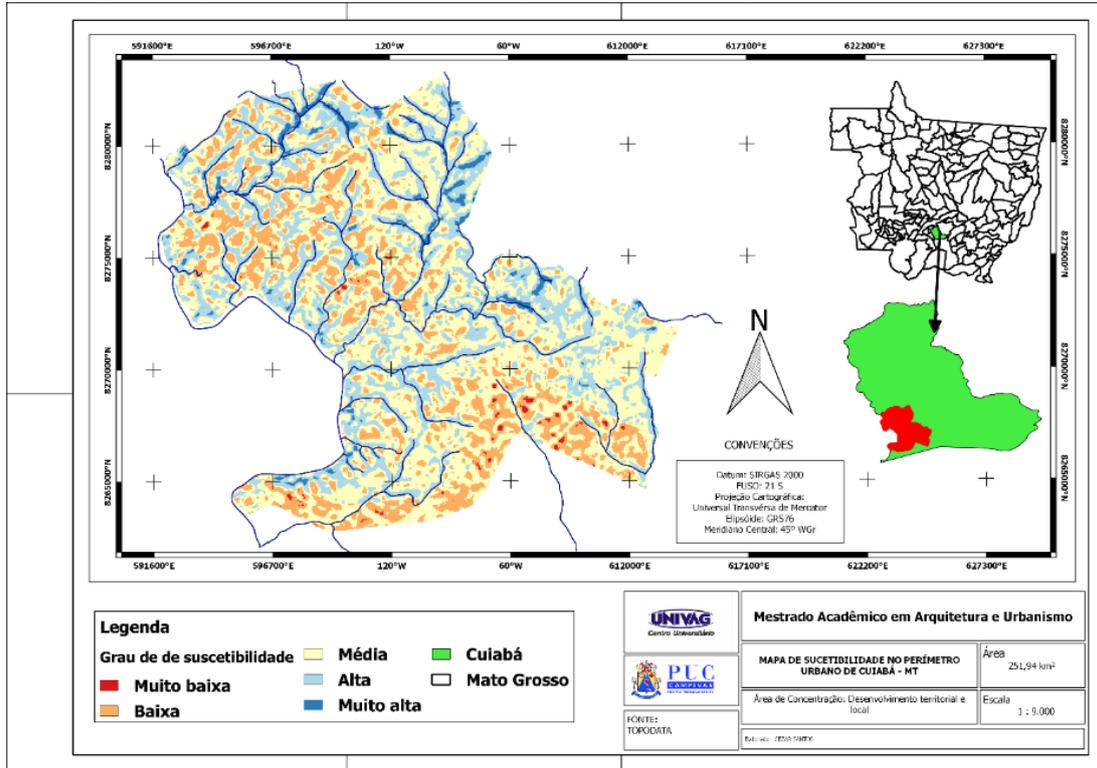
Referente aos dados socioeconômicos, o modelo demonstrou que as áreas de suscetibilidade alta e muito alta foram espacializadas, em sua maioria em regiões ocupadas pela população de baixa renda, com densidade populacional baixa. Para McHarg (1968) tal dissociação entre o movimento social e a natureza é justificada devido à constatação de que o padrão econômico, assumi um papel antiético à ecologia visto a exploração intensa da natureza, enquanto os campos da sociologia, história, governos e leis parecem ignorar tal situação e degradação do ambiente.

Segundo Zamparoni (2014) em Cuiabá, a maior parte das áreas de risco a enchentes localizam as margens do rio Cuiabá e em entorno dos seus córregos urbanos, por ocupações irregulares formadas por grilos e propriedades sem documentação legalizada, associada a população de baixa renda. Também foi pontuado pela autora que as enchentes ocorridas entre os anos 40 até os anos 2000 sempre foram associadas ao regime hidrológico e pluviométrico da bacia do rio Cuiabá.

Em um trecho delimitado de 2,47 km, em umas das principais vias do Município de Cuiabá, é possível observar que o perfil horizontal do terreno evidenciou a espacialização do modelo de curvatura côncava-convergente (figura 8) e, nos trechos caracterizados como fundo de vale, com a presença de cursos d'água inseridos nas áreas de preservação permanente (APPs). Por sua vez, nos trechos com o modelo de curvatura convexa-divergente (figura 8), o perfil demonstrou que essas áreas possuem características antrópicas, com implantação de conjuntos residenciais com altas taxas de impermeabilização do solo.

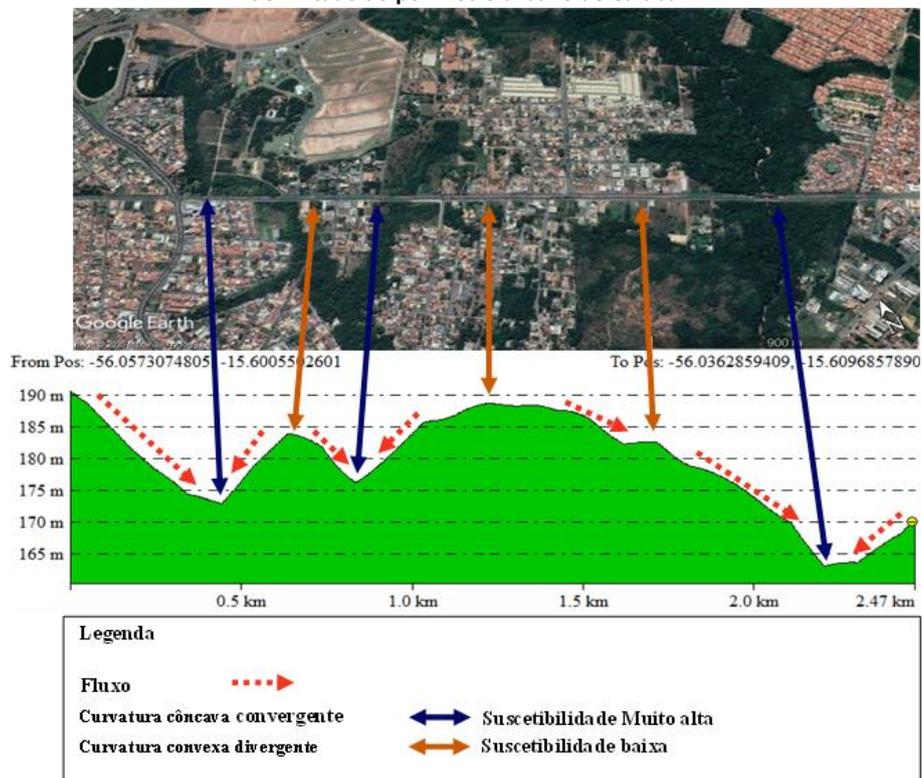
Nascimento e Costa (2019) identificaram características peculiares em áreas de alta suscetibilidade, e que essas regiões possuem o relevo plano — próximas às redes de drenagem, onde estão localizadas as planícies de inundação — combinado com a presença de superfícies densamente ocupadas e impermeabilizadas devido ao processo de urbanização.

Figura 7: Mapa de suscetibilidade de inundação e alagamentos do perímetro urbano de Cuiabá.



Fonte: O próprio autor.

Figura 8. Perfil horizontal evidenciando as áreas de suscetibilidade de inundação e alagamentos em um trecho delimitado do perímetro urbano de Cuiabá MT.



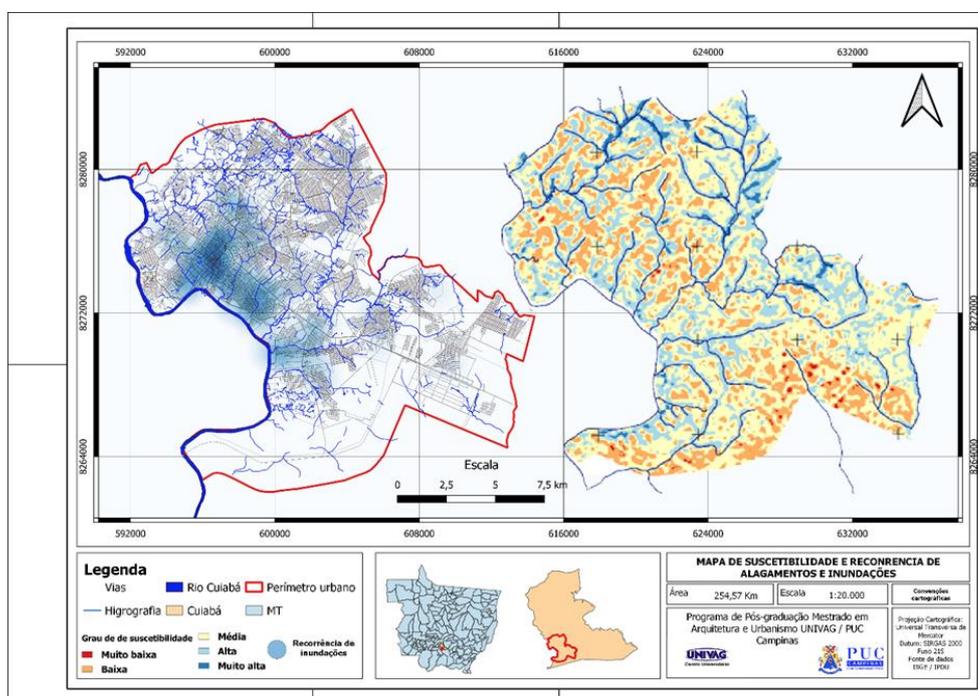
Fonte: O próprio autor.

Com as informações de ocorrências de alagamentos e inundações levantadas em uma escala temporal de 45 anos, e modeladas por meio de técnica de interpolação, foi possível observar a recorrência de casos de inundação nos bairros de Cuiabá.

Na figura 9, é possível observar que as manchas de registros de alagamentos estão concentradas na Região Central e na orla do rio Cuiabá. Tal concentração está associada a cinco registros de ocorrência noticiados na série histórica. Os bairros Alvorada, Bosque da Saúde, Cohab São Gonçalo, Despraiado, Jardim Cuiabá, Jardim Europa, Jardim Petrópolis, Parque Geórgia, Praeiro e São Gonçalo Beira Rio tiveram três registros de recorrência: a maioria dos bairros relatados margeia córregos urbanos e o principal rio da capital. No restante, 11 bairros tiveram dois registros e 16 bairros tiveram apenas um registro com base na série histórica dos últimos 45 anos.

Ao comparar o modelo gerado pelos registros de ocorrências com o modelo de matriz de decisões, fica evidente que as áreas classificadas como alta e muito alta suscetibilidade estão associadas a rede de drenagem municipal e que o volume concentrado após eventos de precipitação com grande intensidade e baixo tempo de duração deslocam de montante para jusante em direção ao seu canal principal “Rio Cuiabá”, devido as características físicas de relevo, altitude e curvaturas de terreno. Essa concentração de fluxo de massa de água atinge bairros sem infraestrutura urbana, ocupados irregularmente, com a população classificada com de média a alta vulnerabilidade social.

Figura 9. Recorrência de alagamentos no perímetro urbano de Cuiabá.



Fonte: O próprio autor.

5 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada neste estudo possui o caráter inédito, pois utilizou como parâmetro principal a utilização dos modelos de curvatura de terreno para identificação desses eventos. Valeriano (2008) elaborou um documento técnico para orientar o uso de dados TOPIDATA para análises geomorfométricas. Embora existam várias metodologias utilizando SIG e parâmetros físicos para identificação de áreas de vulnerabilidade a alagamentos e inundação, não foram identificadas referências da utilização de modelos de curvatura de terreno na identificação desses fenômenos como principal elemento de análise.

Sobre a geração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para o mapeamento das classes de vulnerabilidade no perímetro urbano de Cuiabá. Esse índice apresentou informações relevantes para identificação de áreas classificadas como muito alta e de baixa vulnerabilidade. Embora os dados do censo de 2010 não expressem o cenário atual de uso e ocupação do solo no município, o índice auxiliou a observar que as áreas com baixa vulnerabilidade social está associada principalmente a baixa densidade urbana, demonstrando que a malha urbana do município possui grandes vazios urbanos em algumas regiões e a ocupações de grande magnitude em outras regiões. Referente ao IVS associado para o mapeamento de riscos. Essas variáveis estão diretamente correlacionadas ao risco de exposição dos habitantes ao perigo de eventos de origem natural, devido as circunstâncias de exposição, e não a suscetibilidade de exposição a riscos de inundação.

O desenvolvimento desta pesquisa fundamentou-se em contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia acessível e de fácil aplicação para Capital do Estado de Mato Grosso e em qualquer região. A ideia é que essa metodologia deixe de ser aplicada em caráter experimental e passe a ser considerada como uma ferramenta para auxiliar para gestão de risco nos Municípios que possuem a necessidade de atender o decreto Nº 10.692/2021, já que os mesmos devem realizar o cadastro nacional municipal de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações bruscas no prazo de um ano, contado da data de inclusão no Cadastro Nacional do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil, observado o disposto no § 7º do art. 3º-A da Lei nº 12.340, de 2010.

É importante frisar que esta proposta metodológica foi desenvolvida a partir de técnicas de geoprocessamento e geoestatística, utilizando dados espaciais e georreferenciados originados de fontes gratuitas e de referência, com destaque para a utilização de pesos estatísticos para parâmetros do meio físico e socioeconômicos, e validados com fontes de referência para compor o cenário da modelagem das áreas de vulnerabilidade de alagamentos e inundações. O mais importante é que os usuários poderão utilizar os pesos estatísticos para geração de modelos similares em outras regiões, sem que seja realizado o procedimento de validação estatística.

Observando a questão pontual do atual Plano diretor do Município de Cuiabá (Lei complementar 150/2007), a metodologia poderá auxiliar os gestores, assim como os gestores de todo País, a realizarem o zoneamento de áreas de risco, e incorporá-las nos planos diretores e zoneamentos, com o intuito de garantir o monitoramento dessas áreas de maneira planejada. O artigo 42^A da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei nº 12.608/12) estabelece que deve ser incluso nos planos diretores dos municípios, as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações. A mesma lei aponta ainda que é necessário realizar o mapeamento das áreas suscetíveis, para que ocorra o devido planejamento.

6 REFERÊNCIAS

BARTELS, Carol. J.; VAN BEURDEN, Arthur U. C. J. *Using geographic and cartographic principles for environmental assessment and risk mapping*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 61, p. 115–124. 1998.

CUIABÁ. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano (IPDU). **Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá: Lei Complementar nº 150 de 29 de janeiro de 2007**. Cuiabá.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Reunião técnica de levantamento de solos**, 10. Súmula. Rio de Janeiro, SNLCS, 83p. 1979.

FLORINSKY, Igor *et al.* *Prediction of soil properties by digital terrain modelling*. **Environmental Modelling & Software**, n. 17, p. 295-311. 2002.

GOERL, Roberto Fabris; KOBAYAMA, Masato; PELLERIN, Joel Robert Georges Marcel. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p.81-100, 2012.

HILL, Arlene; CUTTER, Susan L. *Methods for Determining Disaster Proneness*. In: CUTTER, Susan (ed). **American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, p. 13-36. 2001.

MCHARG, I. **Valores, processos e forma**. In: A humanização do mei. São Paulo: Cultrix LTDA, 1968.

MENEZES, Daniel Junges; SCOTTI, Anderson Augusto Volpato. Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010. In: Robaina, Luís Eduardo de Souza; Trentin, Romario. (Org.). **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Editora UFSM, Santa Maria. 163 - 179 p. 2013.

OLIVEIRA, Edson Luís de Almeida. **Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria-RS: zoneamento e hierarquização**. 147f. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

RAMÍREZ, Paulo Etxeberria *et al.* *Metodología para crear mapas de peligros naturales em Guipúzcoa utilizando SIG, GeoFocus* (Artículos), n. 5, p. 250-267. 2015.

SAATY, Thomas L. *Scaling method for priorities in hierarchical structures*. **Journal of mathematical psychology**, n. 15, p. 234-281, 1977.

TUCCI, Carlos. Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana. **ABRH**. Curitiba. 2007.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE. 2008.

ZAMPARONI, Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira. Análise de mapeamentos de áreas de riscos hidrológicos em Cuiabá/MT/Brasil. **III Congresso Internacional I Simpósio Ibero-Americano VIII Encontro Nacional de Riscos**. Coimbra, 2014.