

**O USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE VENTOS
CAUSADORES DE DESASTRES NATURAIS**
Associados a dinâmica fluvial em áreas de risco

***THE USE OF GEOTECHNOLOGIES FOR MAPPING WINDS CAUSING
NATURAL DISASTERS***
Associated with river dynamics in risk areas

**A. Cezar Clemente Pires Dos Santos & C. Alex Reis & D. Eduardo
Giacobbo Garcia & E. Jeane Aparecida Rombi de Godoy Rosin**

UNIVAG - Centro Universitário, Brasil

cezarbiologo@gmail.com

alexreisbrito@outlook.com.br

giacobbogarcia@gmail.com

urbanista.jeane@gmail.com

B. Manoel Lemes da Silva Neto

PUC - Pontifícia Universidade Católica de 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 Matogrossense, Cuiabá, assim como na maioria dos municípios brasileiros, 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 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, Planejamento urbano, Áreas de Risco, Inundação.

Linha de Investigação: Cidade e Ambiente

Tópico: Risco, vulnerabilidade e resiliência

ABSTRACT

Natural events are potentially harmful processes or phenomena that occur in the biosphere, and can cause serious socioeconomic damage to exposed communities. The current urban scenario in the capital of Mato Grosso, Cuiabá, as well as in most Brazilian municipalities, reveals the disordered form of appropriation of this urban space, making it susceptible to actions of natural events, causing losses and harming the daily lives of the population. For this, the mapping of areas at risk of flooding, flooding and flooding using a geographic information system (GIS) is an important tool in the prevention, control and management of natural events. The application of the tool allowed the identification of areas with high risk of flooding, flooding and flooding, showing that the technique has great potential to be used in urban planning through the zoning of these risk areas.

Keywords: GIS, Urban Planning, Risk Areas, Flood.

Research line: City and Environment

Topic: Risk, vulnerability and resilience

1. Introdução

O cenário urbano dos municípios brasileiros, em sua maioria, revela a forma desordenada de apropriação do espaço urbano, norteados pela ausência de planejamento. Esse desarranjo traz, como seqüela, níveis abusivos de deterioração ambiental, tornando esse espaço urbano susceptível a ações de eventos naturais, gerando prejuízos e se tornando comum e evidente no cotidiano urbano (OLIVEIRA, 2004). Segundo o método de análise de McHarg (1968) os fenômenos naturais são processos interativos e dinâmicos, que podem ser avaliados por obedecerem a princípios físicos, além de oferecerem tanto oportunidade quanto restrições ao uso humano.

A Estratégia Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastres (UNISDR) conceitua que os eventos naturais são processos ou fenômenos de origem natural potencialmente prejudiciais que ocorrem na biosfera, podendo causar sérios danos socioeconômicos às comunidades expostas. Esses eventos podem estar associados a dinâmica atmosférica, podendo causar tempestades, vendavais, precipitação de granizo, estiagens e secas, ou associados a dinâmica fluvial, podendo causar enchentes, enxurradas e alagamentos (UNISDR, 2002).

Tucci (1997) destaca que as enchentes em áreas urbanas ocorrem mediante o aumento da frequência das enchentes, devido ao uso e ocupação do solo, por meios construtivos de superfícies impermeáveis ou pela deficiência dos condutos de escoamentos. Já os alagamentos ocorrem, geralmente, em áreas planas ou com depressões em fundos de vale, devido ao comprometimento do escoamento superficial em direcionar a água para regiões com altitudes inferiores, seja pela insuficiência da drenagem do sistema pluvial, ou pelo perfil topográfico elevado da cota do rio. Diferente do alagamento as enxurradas 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. Estas áreas são passíveis de serem atingidas por fenômenos ou processos naturais ou induzidos, causando efeito adverso às pessoas que ali habitam, à integridade física e perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, as áreas de risco estão ocupadas

especialmente pelos núcleos habitacionais de baixa renda como assentamentos precários ou favelas, estando suscetíveis a ação destes fenômenos pelas características naturais e antrópicas.

Desenvolvida pela Organização das Nações Unidas (ONU), a agenda 2030 recomenda que os governos locais devem adotar e implementar estratégias locais para redução de risco de desastres naturais (ODS BRASIL, 2017). Em 2017, o Brasil alcançou 33,8% da cobertura dos municípios que implementaram medidas de redução de riscos, tendo como destaques positivos o Distrito Federal, com cobertura de 100%, seguido pelo estado do Espírito Santo, com cobertura de 93,6%. Em relação aos destaques negativos, o estado do Piauí ocupa a última colocação, com cobertura de apenas 4%, e o Rio Grande do Norte a penúltima, com 7,8%.

Na região Centro-Oeste, o estado de Mato Grosso possui apenas 16,3% de cobertura, atrás do estado de Mato Grosso do Sul, onde a cobertura atinge 49,4% (ODS BRASIL - IBGE, 2017).

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 utilizando de diversas fontes de dados. Para isso os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vêm ganhando muita importância, pois 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).

Campana e Tucci (2001) abordam que um dos desafios de maior dificuldade enfrentados pelo poder público é prevenir quais são as consequências na população devido o processo de ocupação desordenada, visto que, na maioria das vezes, estas áreas não foram analisadas antes da ocorrência do processo de ocupação. Eles apontam que o mapeamento dessas áreas de risco antes da ocupação com o auxílio de geotecnologias torna-se uma etapa inicial para as ações de mapeamento e prevenção de riscos de enchentes e alagamentos, tornando essa metodologia um fator de suma importância para garantir o bem-estar da população e evitar impactos e desastres.

Nos dias atuais o gerenciamento e análise de risco com o auxílio do SIG, tendo sido muito utilizado pelos gestores de políticas públicas, pois a ferramenta demonstra maior agilidade e acurácia como se pode observar nos trabalhos de BARTELS (1998), FEDRA (1998) e PRUPPERS (1998). Os SIG's possuem uma gama de atributos e funções capazes de realizar a integração dos dados e gerar cálculos cumulativos para mapeamento de risco (PRUPPERS, 1998; COZZANI, 2006).

A maioria dos autores abordam para o mapeamento de áreas de risco apenas os parâmetros físicos, sem levar em consideração os parâmetros sociais. Para Wiersma et al. (2005), a interação de dados sociais é de suma importância para mapeamentos de áreas de risco, visto que muitas vezes estas áreas já estão ocupadas. O mesmo autor expressa que os métodos de integração dos dados de risco social são primordiais para realização destas análises, inclusive através da definição de áreas de cálculo como por exemplo a densidade urbana, segregação socioespacial e zoneamentos.

Scoti e Menezes (2014) apresentam que a utilização dos SIG's pode auxiliar na identificação e definição das áreas de risco e de seu mapeamento, sendo estes alinhados com os avanços tecnológicos pela facilidade de acesso e gratuidade, pela disposição de bases de dados, os quais representam ferramentas indispensáveis e essenciais para mapeamentos e identificação das áreas com risco de alagamentos e enchentes.

Neste sentido, o presente trabalho desenvolve uma proposta metodologia de mapeamento de áreas de risco relacionados a dinâmica fluvial, utilizando parâmetros físicos e antrópicos com auxílio de SIG, na área urbana do município de Cuiabá, MT.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

Cuiabá está situada na mesorregião centro-sul mato-grossense, especificamente, na microrregião Cuiabana, composta pelos municípios da Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio do Leverger e Várzea Grande. A sede do município está situada junto às coordenadas geográficas 15°35'56" de latitude sul e 56°06'01" de longitude oeste (IPDU, 2009). A cidade faz limite à Norte com os municípios de Acorizal, Rosário Oeste e Chapada dos Guimarães, à Leste com o município de Chapada dos Guimarães, à Sul com o município de Santo Antônio do Leverger e à Oeste com os municípios de Várzea Grande e Acorizal. Conforme a legislação municipal vigente, Cuiabá e seus distritos têm uma área correspondente a 3.538,17 km², dos quais 254,57 km² correspondem à Macrozona Urbana (Lei nº 4.719/2004) e 3.283,60 km² correspondem à Área Rural (IPDU, 2010). Sua população estimada é de 612.547 habitantes, com densidade demográfica de 157,66 hab/km² e crescimento populacional de 2,77% ao ano. Seu perímetro urbano atual é de 254,57 Km² e aproximadamente 540.814 habitantes residem em 115 bairros conforme apresentado na figura 1 (IBGE, 2019).

Relacionado aos recursos hídricos, Cuiabá está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraguai, sendo margeada e abastecida pelo rio que originou seu nome, fazendo limite com o município de Várzea Grande. Seu clima é essencialmente tropical continental, apresentando dois períodos distintos, sendo eles chuvoso, com duração de oito meses, e seco, com duração de quatro.

A cidade localiza-se na Depressão Cuiabana, com predominância de relevos de baixas amplitudes, com altitudes que variam de 146 a 250 metros no perímetro urbano.

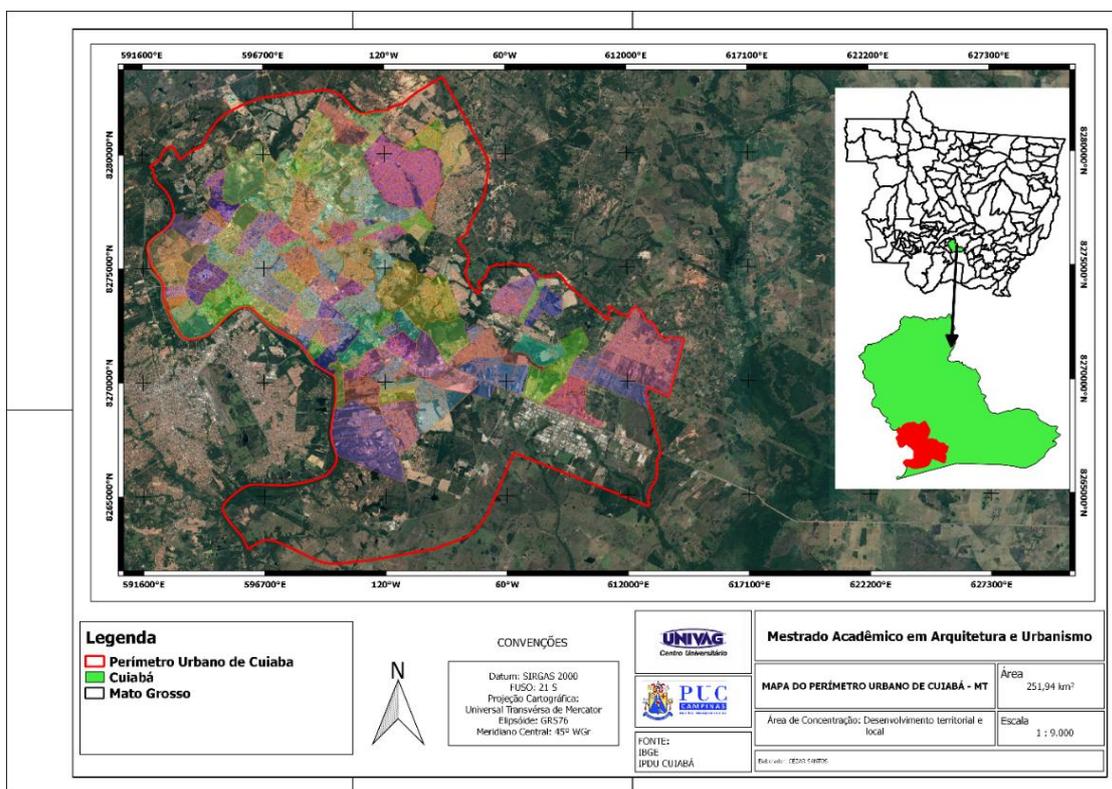


Fig. 1 Mapa do perímetro urbano do Município de Cuiabá com base na Lei Complementar n.º 150/2007. Fonte: Elaboração própria.

2.2. Procedimentos operacionais

Para compor a base de dados e geração do modelo estrutural, utilizou-se a base de dados de relevo, altimetria, declividade, referente ao meio físico disponíveis gratuitamente no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE - TOPODATA). Já os dados pedológicos foram adquiridos por meio da base cartográfica do Serviço Geológico do Brasil – CPRM Folha SD.21, que representa Cuiabá na escala 1:1.000.000 em formato *shapefile*. Todas as classes dos parâmetros físicos analisados foram classificadas com base nos estudos de Magalhães et al. (2011), EMBRAPA (1979) e Ross (1994) conforme apresentado na tabela 1.

Classes de altitude (m) Magalhães et al. 2011	Classes Declividade (%) EMBRAPA 1979	Classes Pedológicas Ross 1994	Grau de fragilidade	Peso
150 – 180	0 – 2,5	Neossolos com cascalho	Muito elevada	5
180 – 210	2,5 – 5	Plintossolo com cascalho	Elevada	4
210 – 240	5 – 7,5	Latossolo Vermelho amarelo, Nitossolos, Aluissolos, neossolos textura média/argilosa.	Moderada	3

240 – 270	7,5 – 15	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo, textura média/argilosa	Baixa	2
> 270	>15	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo, textura argilosa.	Muito baixa	1

Tabela 1. Grau de fragilidade e pesos atribuídos aos parâmetros físicos por classes. Fonte: Elaboração própria

Também foram utilizados arquivos no formato matricial dos modelos de curvatura vertical e horizontal do terreno disponíveis no site do projeto TOPODATA (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>). 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* do QGIS 2.18. O produto gerado pelo somatório dos dois modelos representa a caracterização das formas de terreno associadas diretamente às propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos com base nos estudos de Evans (1972).

Foram atribuídos pesos a cada forma do terreno e dinâmica hidrológica: aproximando-se de cinco, representando a forma côncavo-convergente, haverá a máxima concentração e acúmulo do escoamento; aproximando-se de um, pela forma convexa-divergente, haverá a máxima dispersão do escoamento para as outras formas de terreno conforme apresentado na tabela 2.

Curvatura do terreno	Grau de fragilidade	Peso
Côncavo convergente	Muito baixa	5
Côncavo planar	Alta	4.5
Côncavo divergente		4
Retilíneo convergente	Média	3.5
Retilíneo planar		3
Retilíneo convergente	Baixa	2.5
Convexo convergente		2
Convexo planar	Muito baixa	1.5
Convexo divergente	Nula	1

Tabela 2. Grau de fragilidade e pesos atribuídos aos parâmetros físicos de curvatura do terreno. Fonte: Elaboração própria

Já os dados referentes a densidade urbana e segregação espacial foram adquiridos por meio da base digital dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que fornece variáveis socioespaciais referente ao censo de 2010. A densidade populacional foi calculada pela quantidade de habitantes por hectares nas áreas de ponderação dos dados censitários conforme apresentado na tabela 3, já a variável para mensurar a desigualdade socioespacial foi o número de pessoas responsáveis com rendimento nominal de mais de ½ até 1 salário mínimo, com base no estudo desenvolvido por Vieira et al (2018), conforme apresentado na tabela 3.

Densidade populacional (habitante/ha)	Grau de vulnerabilidade	Peso	Renda (Número de pessoas responsáveis)
Classes			Classes
Acima de 88	Muito alta	5	> a 101
47 a 88	Alta	4	100 a 51
26 a 47	Médio Alta	3	50 a 21
12 a 26	Médio baixo	2	20 a 11
0 a 12	Baixa	1	10 a 0

Tabela 3. Grau de fragilidade e pesos atribuídos aos parâmetros sociais. Fonte: Elaboração própria

Desenvolvido por Saaty (1977), o método de Análise Hierárquica (AHP) consiste em construir uma escala de importância entre os elementos analisados visando, posteriormente, inseri-los em uma matriz de relacionamento que possibilita uma comparação pareada e a análise hierárquica da importância entre os mesmos (MAGALHÃES et al., 2011). Para o mapeamento da suscetibilidade de inundação e alagamentos, foi utilizado o método AHP considerando-se os condicionantes de hipsometria, declividade, formas de curvatura do terreno, pedologia, densidade urbana e segregação socioespacial.

Para cada elemento do meio físico e socioeconômico foram estabelecidos valores em escala de importância para geração de uma matriz de comparação e decisão seguindo a seguinte hierarquia: igual importância (peso 1); importância moderada de um sobre o outro fator (peso 3); essencial ou forte importância (peso 5); importância muito forte (peso 7); e importância extrema (peso 9) (Tabela 4).

Fatores	Hipsometria	Declividade	Curvatura	Litologia	Densidade populacional	Desigualdade socioespacial
Hipsometria	1	0,33	0,2	0,11	0,11	0,11
Declividade	0,33	1	1	5	9	5
Curvatura	5	1	1	5	9	3
Litologia	3	5	5	1	0,11	0,11
Densidade populacional	0,11	0,2	0,11	0,2	1	5
Desigualdade socioespacial	9	7	5	5	3	1
Somatória	21.44	17.53	17.31	19.31	31.22	21.22

Tabela 4. Matriz de comparação pareada utilizada no estudo. Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, confeccionou-se uma nova matriz (decisão), onde o peso WI de cada fator foi calculado pela média de cada linha (Tabela 5).

Fatores	Hipsometria	Declividade	Curvatura	Litologia	Densidade populacional	Desigualdade socioespacial	Peso WI
Hipsometria	0,050	0,019	0,012	0,007	0,004	0,005	0,101
Declividade	0,149	0,057	0,289	0,155	0,096	0,236	4,333
Curvatura	0,348	0,171	0,058	0,259	0,096	0,141	4,714
Pedologia	0,149	0,171	0,012	0,052	0,011	0,016	2,060
Densidade populacional	0,007	0,011	0,012	0,010	0,032	0,236	1,660
Desigualdade socioespacial	0,149	0,285	0,173	0,155	0,160	0,047	4,333

Tabela 5. Matriz de decisão utilizada no estudo. Fonte: Elaboração própria.

Após a extração dos pesos de cada parâmetro a ser analisado foi utilizada a Equação 1, para representar em níveis hierárquicos das áreas suscetíveis à inundação e alagamentos. Desta forma, multiplicou-se os pesos estatísticos encontrados pelo seu respectivo fator (tabela 5), utilizando a ferramenta *Raster Calculator* do QGIS 2.18.

Equação 1

$R = P_1 * \text{Hipsometria} + P_2 * \text{Declividade} + P_3 * \text{Curvatura} + P_4 * \text{Pedologia} + P_5 * \text{Densidade populacional} + P_6 * \text{Segregação socioespacial}$

Onde:

R = Risco de inundação e alagamentos;

WiP₁ (0,101) WiP₂ (4,333) WiP₃ (4,714) WiP₄ (2,060) WiP₅ (1,660) WiP₆ (4,333) = Pesos estatísticos determinados para os fatores.

Feitas as ponderações das variáveis, as mesmas foram hierarquizadas de acordo com o grau de suscetibilidade à inundação e alagamentos, em faixas de suscetibilidade variando entre os valores máximo e mínimo dos pesos encontrados pelo modelo gerado na Equação 1. Assim sendo, foram adotadas cinco faixas de suscetibilidade (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) com base em Ouma e Tateish (2014) especializadas em mapas digitais.

3. Resultados e discussão

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. O aumento da fragilidade está relacionado à ocorrência de cheias e alagamentos em áreas com declividades entre 2,5 a 5%, e que são classificadas como de relevo plano (fig. 2). Em contrapartida, as áreas com relevo superior a 15% de inclinação (fig. 2), as de relevo ondulado, podem desencadear o carreamento de sedimentos e o transporte de alta velocidade da água proveniente dos eventos de origem fluvial para as regiões de relevo plano.

Com relação à declividade no perímetro urbano de Cuiabá (fig. 2), a classe de declividade que obteve a maior distribuição espacial foi a de relevo ondulado (7,5 a 15%), representando 42,15% da área total, seguido pela

classe de declividade de 5 a 7,5%, correspondendo ao relevo suavemente ondulado de acordo com a EMBRAPA (1979).

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 a 240 metros (fig. 3), seguido por 38,21% de altitudes entre 180 a 210 metros (fig. 3). Associados aos eventos de origem fluvial, as áreas com altitudes entre 180 a 210 metros são consideradas de fragilidade elevada devido a dinâmica de deslocamento da água que tende a escoar das áreas com altitudes elevadas para as áreas com menores altitudes, isto é, as áreas de fundo de vale.

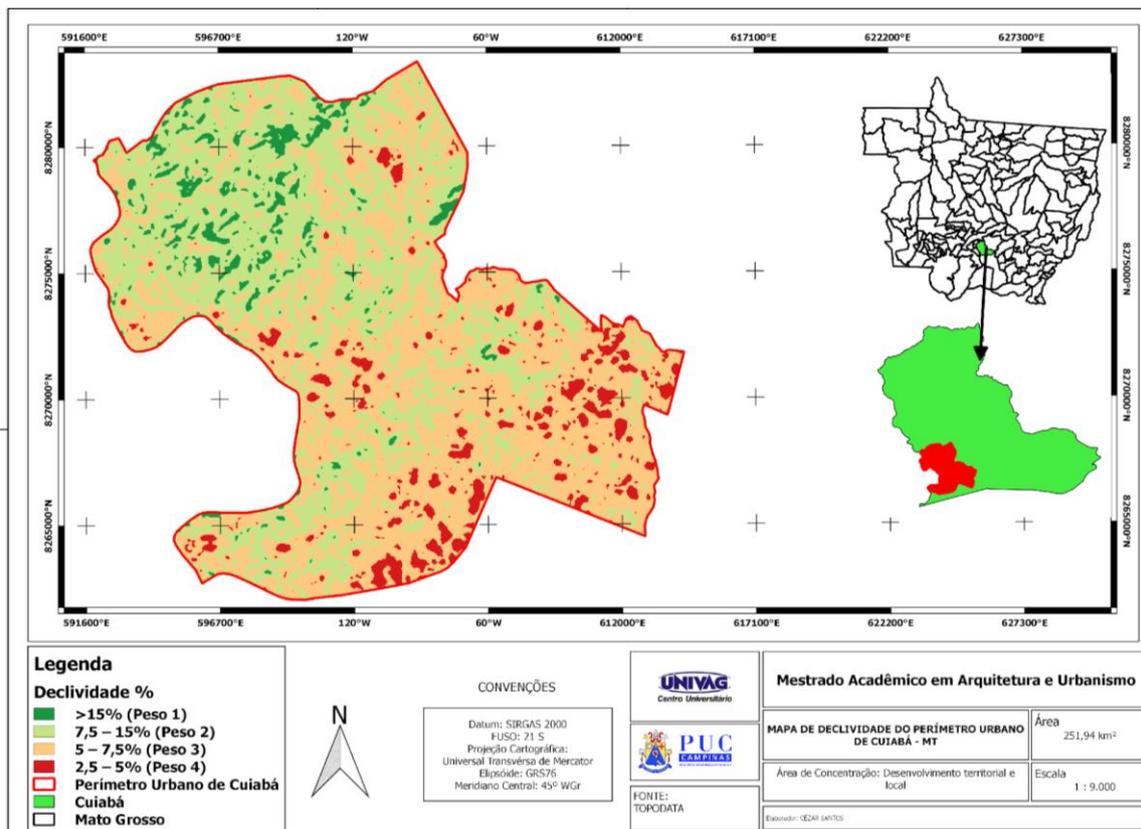


Fig. 2. Mapa de declividade do perímetro urbano de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

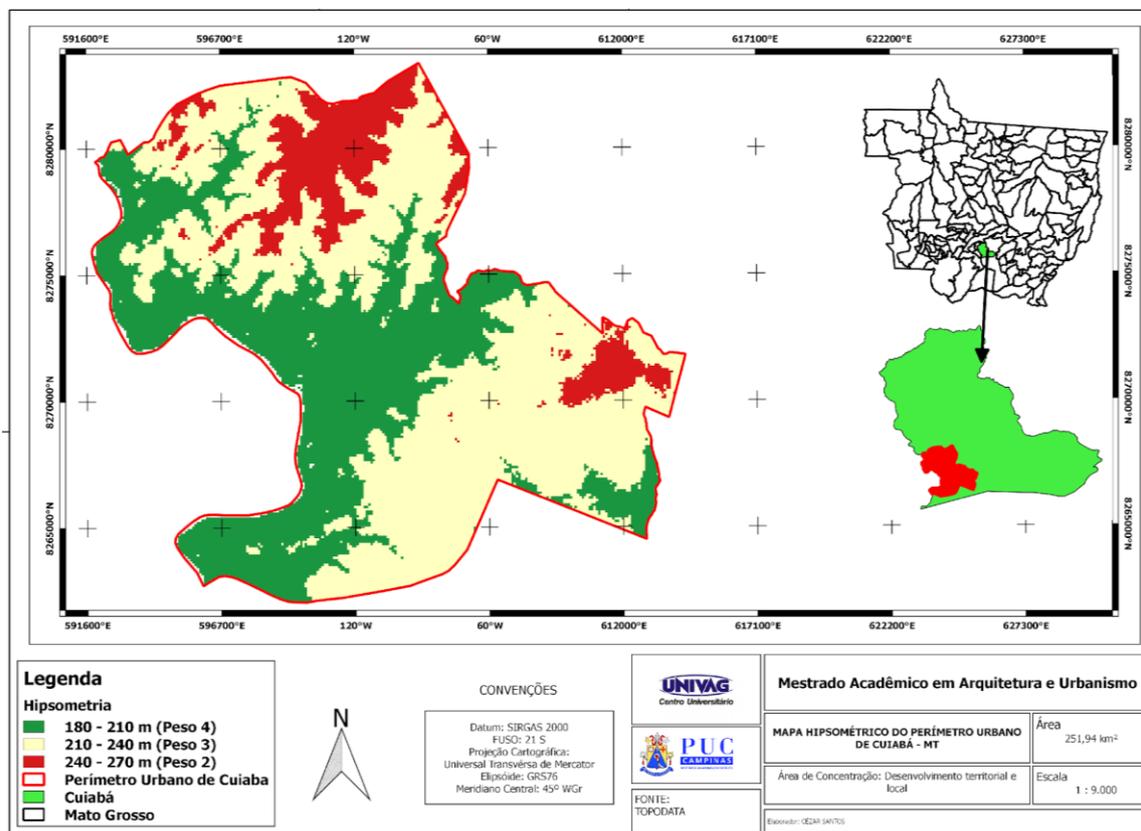


Fig. 3. Mapa hipsométrico do perímetro urbano do Município de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

O mapa pedológico do perímetro urbano de Cuiabá apresentou 69,23% de solo classificado como plintossolo (fig. 4). Este solo possui característica arenosa com elevada textura e baixa permeabilidade. Associando ao grau de fragilidade no perímetro urbano de Cuiabá, Luciano et al. (2012) aponta que este tipo de solo é 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.

O solo do tipo latossolo vermelho amarelo apresentou 23,08% da área total do perímetro urbano (fig. 4). Segundo Ross (1994) os latossolos do tipo vermelho amarelo são identificados em áreas de relevo plano ou suave ondulado e normalmente correm em ambientes bem drenados com grau de fragilidade considerado baixo.

Já o solo do tipo neossolos apresentou 7,69% distribuídos na área do perímetro urbano (fig. 4) em fundos de vale. De acordo com Rovedder e Eltz (2008) este solo geralmente está associado às margens dos corpos hídricos e é caracterizado como de alto grau de fragilidade hídrica.

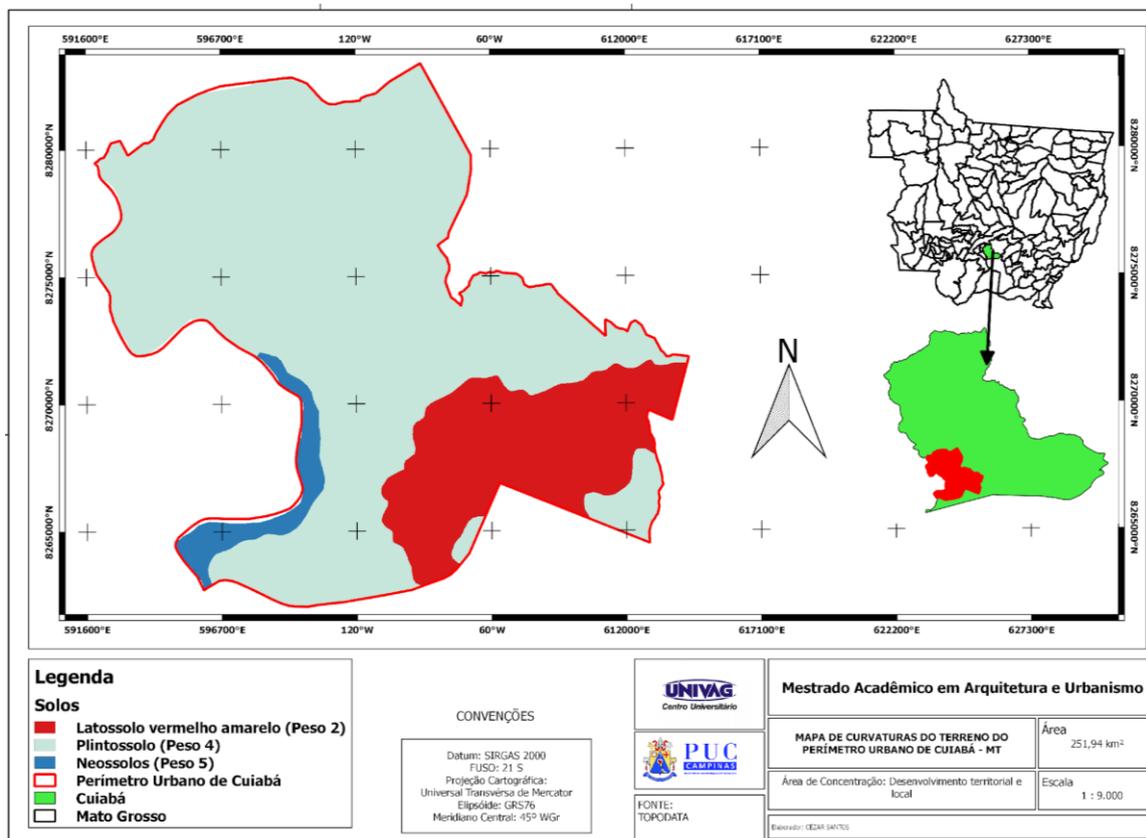


Fig. 4. Mapa de solos do perímetro urbano do Município de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

Segundo Araújo (2006), as curvaturas representam a caracterização das formas do terreno, às quais se associam diretamente as dinâmicas hidrológicas e de transporte de materiais sólidos. A curvatura do terreno classificada como retilínea convergente apresentou a maior proporção (21,09%), se comparada aos 9 modelos de formas de terreno, seguido por 19,31% classificados como côncavo divergente (fig. 5). Referente a dinâmica de concentração e acúmulo do escoamento, o perímetro urbano de Cuiabá obteve 33,37% das áreas mapeadas com características de áreas alagáveis ou áreas inundáveis, sendo representado pelos modelos de terreno com características côncavas representados pelas colorações em tom de azul (fig. 5).

Já relacionada 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 5. Segundo Valeriano (2008A) essas classes apresentam a dinâmica de escoamento superficial de baixa energia relacionado ao transporte e de remoção das partículas do solo, portanto, apresentam baixa vulnerabilidade à perda de solos.

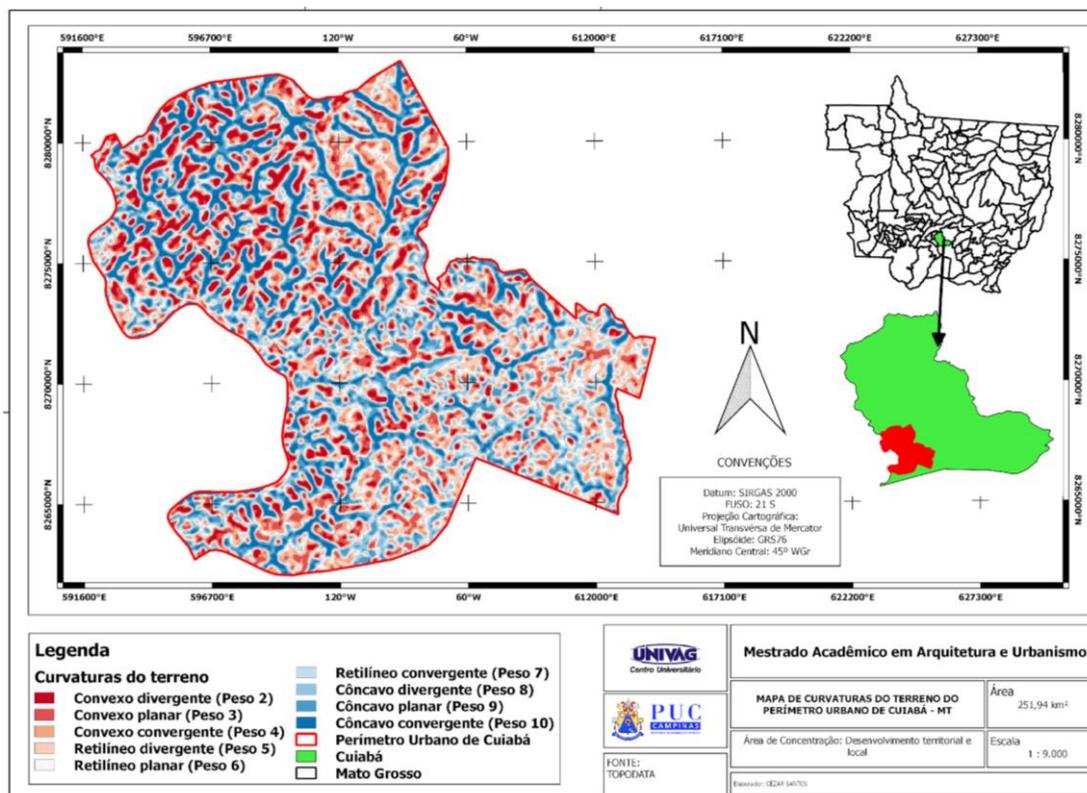


Fig. 5. Mapa de curvatura do terreno do perímetro urbano do Município de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

A maioria dos setores censitários apresentaram densidade populacional com grau de vulnerabilidade considerado médio baixo (fig.6), ou seja, com a população entre 12 a 26 habitantes/ha ocupando 39,55% das áreas dos setores censitários no perímetro urbano de Cuiabá, esses setores possuem áreas relativamente grandes, desocupadas, produzindo vazios urbanos. Para a alta densidade, Krafta (2015) estabeleceu uma densidade urbana de aproximadamente 255 habitantes/ha. Referente a alta densidade populacional, 4,9% das regiões apresentaram a densidade maior que 88 habitantes/ha.

A dimensão “renda” é o indicador socioeconômico mais importante na medida em que está associado à desigualdade socioespacial, questão central da organização espacial de países com economias dependentes como o Brasil. Nos setores censitários no perímetro urbano de Cuiabá a maior representatividade do indicador renda foi a de grau médio alto de vulnerabilidade, tendo 39,81%, seguido por 34,45% de áreas classificadas como de alto grau de vulnerabilidade (fig. 7).

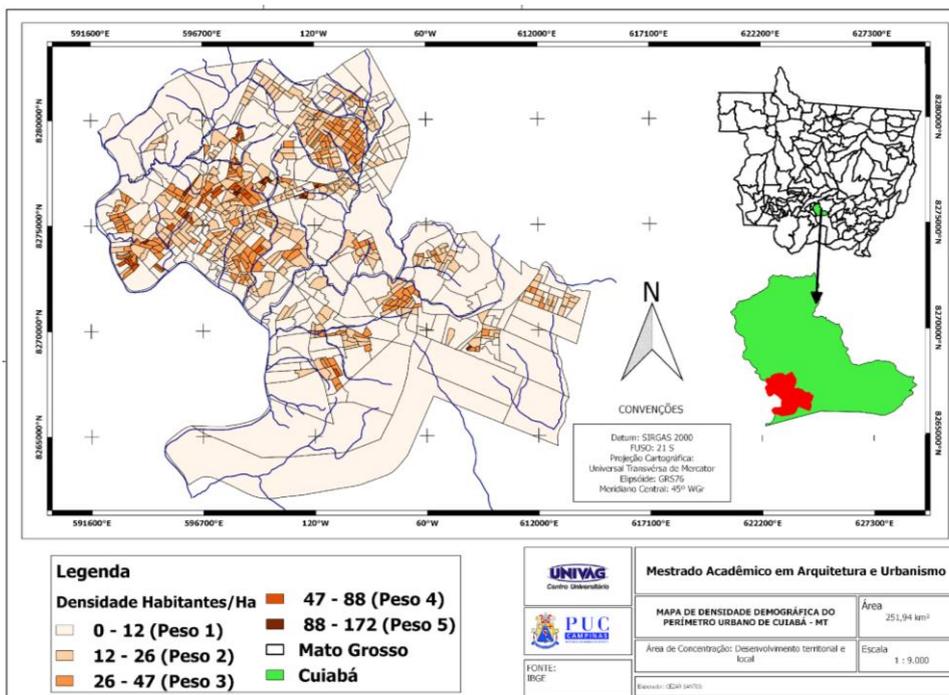


Fig. 6. Mapa de densidade urbana do perímetro urbano do Município de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

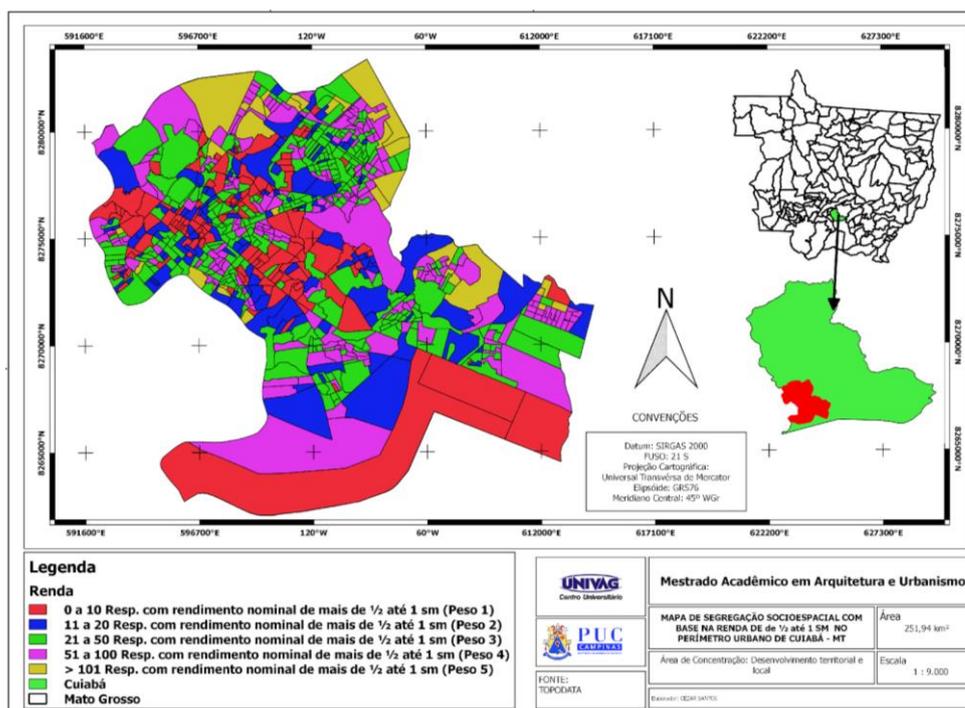


Fig. 7. Mapa de segregação socioespacial do perímetro urbano do Município de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos através dos pesos estabelecidos pela matriz de decisão e pela modelagem dos parâmetros físicos (hipsometria, declividade, curvatura e pedologia) e dos parâmetros socioeconômicos (densidade urbana e segregação socioespacial) originaram um mapa de suscetibilidade que, associados, permitem identificar o grau de influência de fator ao risco de alagamentos e enchentes no perímetro urbano do município de Cuiabá (fig. 8).

Os resultados da modelagem evidenciaram que 35% do perímetro urbano de Cuiabá está especializado em áreas de alta suscetibilidade de ocorrência de alagamentos ou enchentes, seguido por 25% das áreas classificadas como de média suscetibilidade. Já categoria muito alta obteve sua representatividade em torno de 18% em todo perímetro urbano de Cuiabá (fig. 8).

A espacialização evidenciou que os pontos de inundação e alagamentos classificados como de alta e muito alta suscetibilidade estão associados majoritariamente a os cursos d'água e fundos de vale que envolvem o município (fig. 8). Entre as características potenciais que deram origem as áreas de alta suscetibilidade estão a elevação variando entre 180 a 210 metros, o relevo plano com declividade variando entre 2,5 a 5%, os solos com características arenosas e de baixa permeabilidade, os fundos de vale com a predominância de neossolos como alto grau fragilidade hídrica.

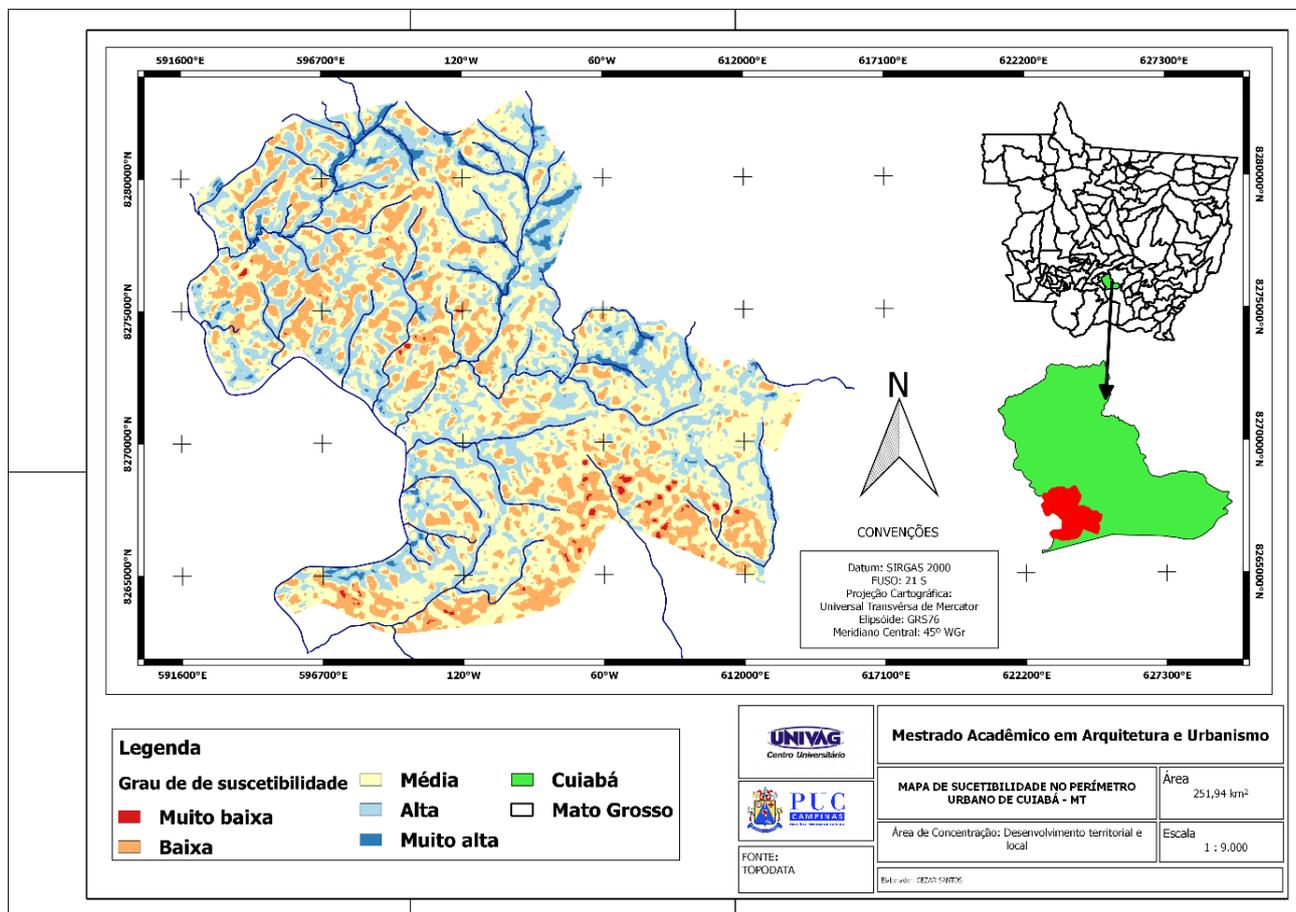


Fig. 8. Mapa de suscetibilidade de inundação e alagamento do perímetro urbano do Município de Cuiabá. Fonte: Elaboração própria.

Referente aos dados socioeconômicos, o modelo demonstrou que as áreas de suscetibilidade alta e muito alta foram especializadas, em sua maioria em regiões ocupadas pela população de baixa renda, com densidade populacional baixa. Para McHarg (1986) 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.

Na matriz de decisão, o peso e o parâmetro da curvatura do terreno tiveram o fator limitante para geração do modelo de suscetibilidade. Já a junção dos dois modelos de curvatura do terreno (vertical e horizontal) evidenciaram a dinâmica de fluxo dos eventos hidrológicos sob a forma convexa-divergente, que indica espacialmente onde estão as áreas que dão origem a dispersão do escoamento superficial, e a forma côncavo-convergente indicando quais áreas possuem a máxima concentração e acúmulo do escoamento, sendo classificadas pelo modelo gerado nas áreas de alta suscetibilidade de alagamentos e enchentes.

4. Conclusão

Os fatores que apresentaram maior influência na suscetibilidade à inundação e alagamentos foram a curvatura do terreno, a declividade e o solo. Eles diminuem de forma significativa a taxa de infiltração da água no solo o que, por consequência, aumenta o escoamento superficial e o tempo de duração do evento.

O mapeamento de risco possibilitou quantificar e verificar que a população inserida nas zonas de interesse social e de proteção ambiental estão vulneráveis a esses eventos, principalmente por estarem dispostas nas margens dos cursos d'água ou em fundos de vale.

A metodologia empregada utilizando SIG mostrou-se eficaz para o planejamento urbano, no intuito de tentar prever ou mapear a evolução de um fenômeno através de medias não estruturais como o zoneamento das áreas de risco de inundação e alagamentos, que pode ser entendido como um conjunto de regras para determinar a ocupação da área suscetível ou de risco de inundação.

Um zoneamento possível de ser extraído a partir dos níveis de risco pode subsidiar os planos diretores municipais à medida em que identifica zonas de risco que não devem ser ocupadas assim como fundamenta a elaboração de programas de macrodrenagem. No caso das áreas já ocupadas, um zoneamento com esta natureza poderá contribuir com a defesa civil dos municípios no que concerne a elaboração de um plano de transferência da população e/ou convivência com os eventos mais frequentes.

5. BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, E. P. (2006). Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos. 88p.

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

CAMPANA, N. A., TUCCI, C. E. M. (2001). "Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio basin", *Urban Water*, Porto Alegre, Brazil, v. 3, 113-124 p.

COZZANI, V. et al. (2006). Application of land-use planning criteria for the control of major accident hazards: A case-study. *Journal of Hazardous Materials*, v.136, p. 170–180.

CUIABÁ, Prefeitura Municipal de. (2007). Organização Geopolítica. Cuiabá: IPDU.

CUIABÁ, Prefeitura Municipal de. (2010.) Perfil Socioeconômico de Cuiabá. – Cuiabá: IPDU/Ed. Central de Texto.

EVANS, I. S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). *Spatial analysis in geomorphology*. London: Harper & Row, Publishers.

FEDRA, K. (1998). Integrated risk assessment and management: overview and state of the art. *Journal of Hazardous Materials*, v. 61, p. 5-22.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). Brasília.

KRAFTA, R. (2015). Revisão do Plano Diretor de Bento Gonçalves. Densidade, descrição e prescrição. <<http://ipurb.bentogoncalves.rs.gov.br/uploads/downloads/etapa2-1-Densidade-descricao-prescricao.pdf>>. Acesso em: setembro, 2019.

Lei complementar nº 150/2007: Plano Diretor do Município de Cuiabá. Cuiabá: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2007.

Lei complementar nº 231. (2011). Regulamenta o uso e ocupação do solo urbano no Município de Cuiabá. Cuiabá: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU.

Lei complementar nº 232. (2011). Regulamenta a hierarquização viária no município de Cuiabá. Cuiabá: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU.

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

MCHARG, I. Valores, processos e forma. In: A humanização do meio ambiente. Smithsonian Institution. Editora Cultrix LTDA, São Paulo, 1968, p. 200-220

OLIVEIRA, E. L. de A. (2004). Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do arroio Cadena, Santa Maria-RS: zoneamento e hierarquização. 2004. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OUMA, Y. O. & TATEISHI, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated Multi-Parametric AHP and GIS: methodological overview and casa study assessment. Rev. Water. 6: 1515-1545.

PRUPPERS, M. J. M. et all. (1998). Accumulation of environmental risks to human health: geographical differences in the Netherlands. Journal of Hazardous Materials, v. 61, p. 187–196.

Scoti, A.A.V., Menezes, D.J., (2014). Mapeamento da suscetibilidade e perigo de inundação em Rosário do SulRS, XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado.

SAATY, T. L. SAATY, R. W. (1977). A scalin Method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology. 15: 234-281.

UNISDR. Unted Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2002). Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version. Geneva: UNISDR.

TUCCI, C.E.M. (1997). Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana. ABRH. Curitiba.

RAMÍREZ, P. E et al. (2005). Metodología para crear mapas de peligros naturales em Guipúzcoa utilizando SIG”, GeoFocus (Artículos), nº 5, p. 250-267.

ROSS, J. L. S. (1994). Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia, nº8, FFLCH-USP, São Paulo.

ROVEDDER, A. P. M & ELTZ, F. L. F (2008). Desenvolvimento de Pinus elliotti e do Eucaliptus tereticornis consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. In:Ciência Rural. Vol. 38 nº. 1 Santa Maria.

ONU – Organização das Nações Unidas. (2015). United Nations – Sustainable Development Goals Knowledge Platform. Disponível em <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em 11/12/2019.

WIERSMA, T.; ROOS, W.; de WIT, M. (2005). Area-specific societal risk, societal risk on the map. [TNO-Report, 2006-A-R0021/B]. Netherland: TNO.

VALERIANO, M. M. (2008). TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE.

VIEIRA, D. C. M; RODRIGUES, J. C.; RODRIGUES, J. C. (2018). Mapeamento e análise de desigualdades socioespaciais: abordagem interpretativa a partir da cidade de Belém, Pará. Geosaberes. Fortaleza, v.9, nº 17, p.1-21, jan-abr.