

**Geotecnologías aplicadas para el mapeo de áreas de inundación y riesgo
de inundación en áreas urbanizadas**

César Clemente Pires dos Santos

Me. en Arquitectura y Urbanismo, UNIVAG/PUC Campinas, Brasil
cezarbiologo@gmail.com

Manoel Lemes da Silva Neto

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

RESUMEN

Los eventos naturales son procesos o fenómenos potencialmente perjudiciales que ocurren en la biosfera y pueden causar graves daños socioeconómicos a las comunidades expuestas. El escenario urbano actual en la capital de Mato Grosso, Cuiabá, revela la forma desordenada de apropiación de este espacio urbano, haciéndolo susceptible a las acciones de los eventos naturales, provocando pérdidas y perjudicando la vida cotidiana de la población. Para ello, el mapeo de áreas con riesgo de inundaciones, crecidas usando un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta importante en la prevención, control y gestión de eventos naturales. La aplicación de la herramienta permitió identificar áreas de alto riesgo de inundaciones y crecidas, mostrando que la técnica tiene un gran potencial para ser utilizada en el planeamiento urbano a través de la zonificación de estas áreas de riesgo.

PALABRAS CLAVE: SIG. Zonas de riesgo. Inundación.

1 INTRODUCCIÓN

El Informe de Investigación sobre Información Básica Municipal elaborado en 2017 indicó que 1.729 municipios declararon haber sido afectados por inundaciones en los últimos años, con la mayor concentración en la Región Sur (53,9%) y la menor en el Nordeste (13,2%). El informe también señaló que cuanto mayor es la clase de tamaño de la población de los municipios, mayor es la proporción de estos afectados por inundaciones y crecidas. Estos eventos traen como secuela niveles abusivos de deterioro ambiental, volviendo este espacio urbano susceptible a las acciones de eventos naturales, generando daños, volviéndose comunes y evidentes en la vida urbana cotidiana (OLIVEIRA, 2004).

Tucci (2007) conceptualiza el término crecidas como fenómenos naturales que ocurren regularmente en los cursos de agua debido a las altas precipitaciones. En las áreas urbanas, estas ocurren debido a la gran intensidad de las lluvias durante un largo período, dando lugar a desbordes de cursos de agua en regiones aguas arriba de las áreas urbanas, o incluso en la propia región urbanizada. Las inundaciones, en cambio, se producen por escorrentías de alta velocidad y alta energía, provocadas por lluvias intensas y concentradas, generalmente en pequeñas cuencas con relieve accidentado, provocando daños materiales a la población que generalmente ocupa áreas consideradas de riesgo.

Menezes e Scoti (2013) 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.

Menezes y Scoti (2013) señalan que el uso de SIG puede ayudar en la identificación, mapeo y modelado de áreas de riesgo, relacionadas con los avances tecnológicos, debido a la facilidad de acceso y gratuidad, a través de la provisión de bases de datos, así como la facilidad operativa, haciendo esta herramienta indispensable e imprescindible.

Para ello, cobran importancia varios estudios, entre ellos las investigaciones desarrolladas por Bartels y van Beurden (1998), donde los referidos autores muestran que la ayuda de los SIG ha sido recurrente para los procesos de gestión y análisis de riesgos, principalmente por parte de los gestores de políticas públicas, ya que la herramienta demuestra

mayor agilidad y precisión. El SIG tiene una gama de atributos y funciones capaces de integrar datos y generar cálculos acumulativos para el mapeo de riesgos (COZZANI, 2006).

2 OBJETIVO

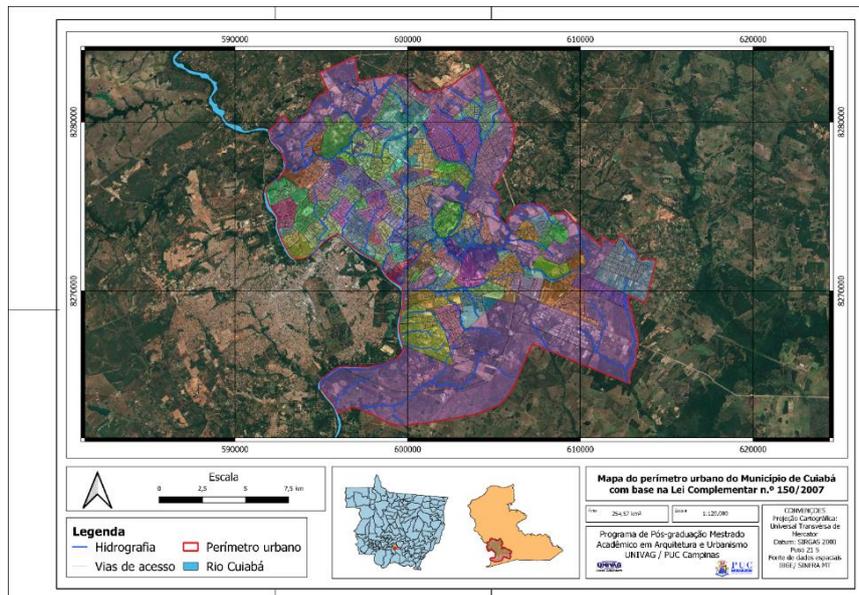
El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología en un entorno SIG para la zonificación del riesgo de inundaciones e crecidas en el área urbana del municipio de Cuiabá, Mato Grosso.

3 MÉTODO DE ANÁLISIS

3.1 Área de estudio

La capital del Estado de Matogrosso Cuiabá (figura 1) se ubica en la mesorregión centro-sur de Mato Grosso, específicamente, en la microrregión de Cuiabana. La cabecera del municipio se ubica en las coordenadas geográficas 15°35'56" de latitud sur y 56°06'01" de longitud oeste (CUIABÁ, 2007). Su población estimada es de 612.547 habitantes, con una densidad demográfica de 157,66 habitantes / km² y un crecimiento poblacional del 2,77% anual.

Figura 1: Mapa del perímetro urbano del Municipio de Cuiabá.



Fuente: Autoría propia.

3.2 Procedimientos operacionales

Para componer la base de datos y generar el modelo estructural se utilizó la base de datos de relieve, altimetría, pendiente y curvatura vertical y horizontal del terreno referida al entorno físico disponible de forma gratuita en la página web del Instituto de Investigaciones Espaciales (INPE). (VALERIANO, 2008).

El mapa hipsométrico se obtuvo a través del mosaico de imágenes con una resolución espacial de 30 metros, generado al unir las hojas 14S58,14S57, 14S55, 15S58, 15S57, 15S55, 16S58, 16S57 y 16S55 de INPE/TOPODATA, y luego el proceso de reclasificación utilizando el algoritmo Rreclass en QGIS 3.18, que permite la reclasificación altimétrica del relieve a intervalos regulares definidos (Tabla 1), permitiendo así una mejor comprensión de la topografía del área de estudio con el fin de resaltar porciones específicas del terreno, e indicar que cuanto mayor sea la altitud menor será la probabilidad de inundación para una región dada debido a la acción de la ley de la gravedad que dirige el agua hacia las regiones más bajas (FLORINSKY et al., 2002).

La pendiente representa la máxima inclinación con la horizontal que se calcula en grados o porcentaje, como el ángulo entre los planos tangente y horizontal en un punto dado de la superficie. El mapa de pendientes se generó a través del mosaico MDE TOPODATA con la ayuda de la herramienta *Slope* para el análisis del terreno en un ambiente SIG. En este estudio, se optó por representar la pendiente en porcentaje (Tabla 1), teniendo como producto un archivo generado con la nomenclatura *Slope*, siguiendo las cinco clases de pendiente según criterios de EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1979).

Para la elaboración del mapa pedológico se utilizó la Hoja SD.21, que representa la región de Baixada Cuiabana. Este archivo está disponible para su descarga gratuita en el sitio web del Sistema de Geociencias del Estudio Geológico de Brasil - CPRM y presenta información sobre el sistema pedológico de la región. La pedología fue elegida para componer uno de los atributos para llevar a cabo este proyecto debido al grado de fragilidad, el tipo de suelo que tienen un papel relevante en el proceso de susceptibilidad a las inundaciones, tomando como base los materiales geológicos descritos por Ross (1994) como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Clasificación del grado de fragilidad asociada a eventos de naturaleza hidrológica.

Suelo	Clase de altitud (m)	Pendiente (%)	Grados de Fragilidad	Peso
Latosoles morado, Latosoles rojo oscuro y rojo amarillo, textura arcillosa	> 270	>15	Muy baja	1
Latosoles amarillo y rojo amarillo, textura media/arcilla	240 – 270	7,5 – 15	Baja	2
Latosoles rojo-amarillo, nitosoles, aluvisoles, neosoles textura media/arcilla	210 – 240	5 – 7,5	Media	3
Plintosoles con grava, Cambisol, Argisol Rojo amarillo	180 – 210	2,5 – 5	Alta	4
Neosoles con grava	150 –180	0 – 2,5	Muy Alta	5

Fuente: Autoría propia.

Para Valeriano (2008), la curvatura vertical expresa la forma de la pendiente y el carácter convexo/cóncavo del terreno, cuando se analiza el perfil. La curvatura horizontal, por otro lado, expresa la forma de la pendiente cuando se observa en una proyección horizontal, traduciendo el carácter de divergencia o convergencia de las líneas de flujo. Valeriano (2008) propuso la combinación de estos dos modelos distintos para proporcionar medios interpretativos de manera equivalente, combinando los dos tipos de curvatura. Para interpretar los modelos de curvatura del terreno de una manera equivalente, se usó la combinación de los dos archivos diferentes al sumarlos usando la herramienta *Raster Calculator* en QGIS 3.16. La suma de los modelos de curvatura puntúa la forma cóncava-convergente con el valor más alto (10), indicando la máxima concentración y acumulación del flujo, y el valor mínimo (2) representando la forma convexo-divergente, indicando la máxima dispersión de la flujir para las otras formas de terreno.

Hill y Cutter (2001) describen que la vulnerabilidad social está asociada con características demográficas de los grupos sociales que los hacen más o menos susceptibles a los impactos adversos de las amenazas. Si bien existen varias definiciones del término vulnerabilidad, esta investigación eligió la definición de vulnerabilidad descrita por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que describe la vulnerabilidad como una condición o proceso resultante de factores físicos, sociales, económicos y ambientales, que determinan la probabilidad y escala de los daños causados por el impacto de un peligro particular. Para generar el mapa temático de vulnerabilidad social, se seleccionaron ocho variables censales utilizadas por Goerl, Kobiyama y Pellerin (2012) para construir un índice de vulnerabilidad social, tres de las cuales estaban relacionadas con características demográficas (D) de la hoja de cálculo *Basico_CUIABA.xls*, una relacionado con las características de dependencia/edad de la hoja de cálculo *Responsible01_CUIABA.xls* (Td), uno asociado con la educación de la hoja de cálculo *Pessoa01_CUIABA.xls* (A) y otro relacionado con los ingresos de la hoja de cálculo *ResponsibleRenda_CUIABA.xls* (R).

En materia de dependencia, se adoptó la población menor de 12 años como límite, que según el Estatuto de la Niñez y la Adolescencia (ECA) son considerados niños, siendo totalmente dependientes de sus padres o tutores ante la ley y la sociedad, y la población mayor de 65 años, considerando que estas personas son personas mayores según lo descrito en la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Con base en estas variables, se formuló el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) como se describe en la siguiente fórmula:

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

Donde, Dd es la densidad de población en hectáreas, Nm es el número de residentes en el sector censal, Mm es el número promedio de residentes por hogar, Td es el porcentaje de la tasa de dependencia de ancianos y jóvenes, A es el porcentaje de analfabetos mayores de 12 años, R es el porcentaje de la suma de los responsables sin ingresos o con hasta 1 salario mínimo, y el IDHM es el Índice de Desarrollo Humano del Municipio de Cuiabá, que es de 0,785. El valor del IVS se clasificó en 5 clases con pesos establecidos en una escala creciente que va de 0 a 1.

Para mapear la susceptibilidad de inundaciones y crecidas se utilizó el método de Análisis Jerárquico (AJ), creado por Saaty (1977), que consiste en construir una escala de

importancia entre los elementos analizados y luego colocarlos en una matriz de relación para hacer una comparación pareada, por lo que puede haber una percepción de que existe una jerarquía de importancia entre ellos: hipsometría; la pendiente; formas de curvatura del terreno, pedología y vulnerabilidad social.

Luego de validar los pesos estadísticos mediante el cálculo de la razón de consistencia (RC), se realizó el modelado espacial del mapa de riesgo multiplicando el peso estadístico encontrado por su factor respectivo por el peso de las clases analizadas, utilizando la herramienta *Raster Calculator* en la Información Geográfica Sistema QGIS.

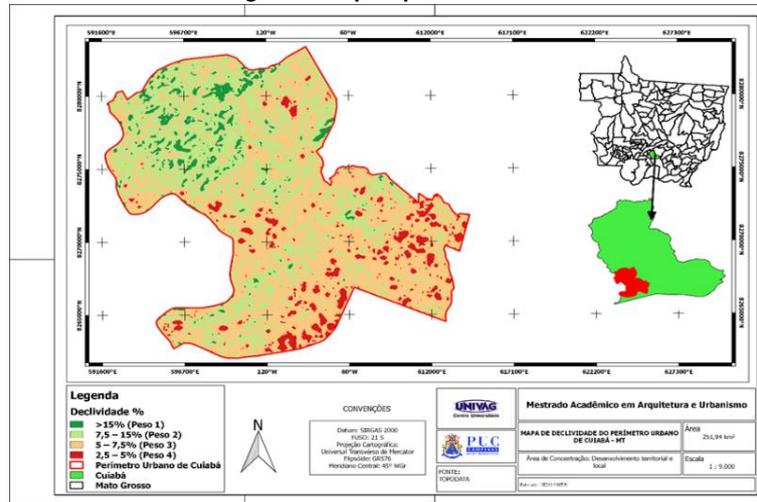
Para validar los rangos de susceptibilidad georreferenciados por el mapa de riesgo elaborado por el método AJ, primero se buscó información sobre inundaciones y crecidas en el Municipio de Cuiabá, entre 1974 – “Fecha de la primera inundación que ocurrió en el municipio” - hasta el año 2019. La validación se realizó a través de encuestas bibliográficas, artículos periodísticos y colecciones de noticias digitales.

Cada evento ocurrido se registró en un formato de tabla CSV de “*comma-separated-values*”, que contenía datos referentes al año de ocurrencia, los barrios afectados, el volumen precipitado y la fuente de información extraída. Para generar el mapa de inundaciones y crecidas basado en la serie histórica de ocurrencias, se importó el archivo CSV al software QGIS 3.18, así como la técnica de interpolación del tipo de ponderación de distancia inversa (*Inverse Distance Weighting - IDW*).

4 RESULTADOS

La hipsometría del perímetro urbano de Cuiabá osciló entre 180 m (AltMin) y 270 m (AltMax) en relación al nivel del mar, estando representada por el 38,41% de las altitudes que oscilan entre los 210 y 240 metros, seguido por el 38,21% de las altitudes entre 180 y 240 metros (figura 2). Asociado a los eventos fluviales, las áreas con altitudes entre 180 y 210 metros se consideran altamente frágiles debido a la dinámica del desplazamiento del agua, que tiende a fluir desde altitudes más altas hacia áreas con altitudes más bajas, caracterizadas como áreas de fondo de valle en el perímetro urbano de Cuiabá.

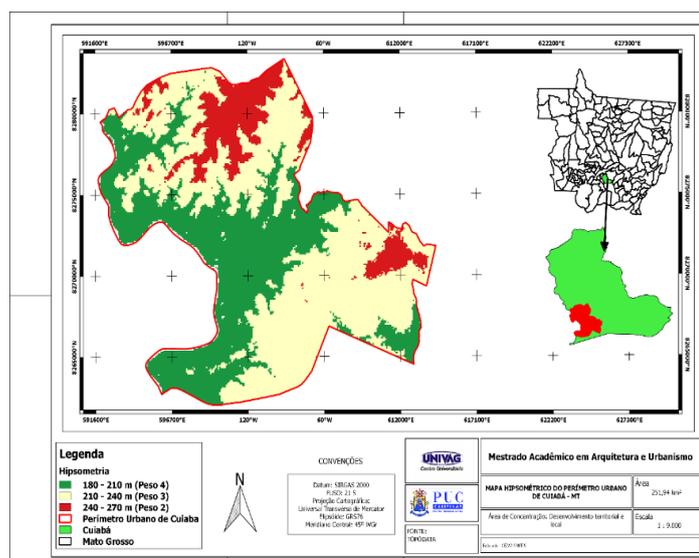
Figura 2: Mapa hipsométrico.



Fuente: Autoría propia.

Asociado a la dinámica de eventos de origen fluvial, la pendiente está relacionada con la velocidad de la escorrentía superficial y el tiempo de concentración que el agua permanecerá en la región. Se identificó que áreas con relieve plano y con pendientes que varían entre 2.5 y 5% (figura 3) son altamente susceptibles a la ocurrencia de inundaciones y crecidas debido a la acumulación de escorrentías. Por otro lado, áreas con relieve ondulado superior al 15% pueden desencadenar el transporte de sedimentos y el transporte de agua a alta velocidad desde eventos fluviales a regiones más planas.

Figura 3: Mapa de pendientes.

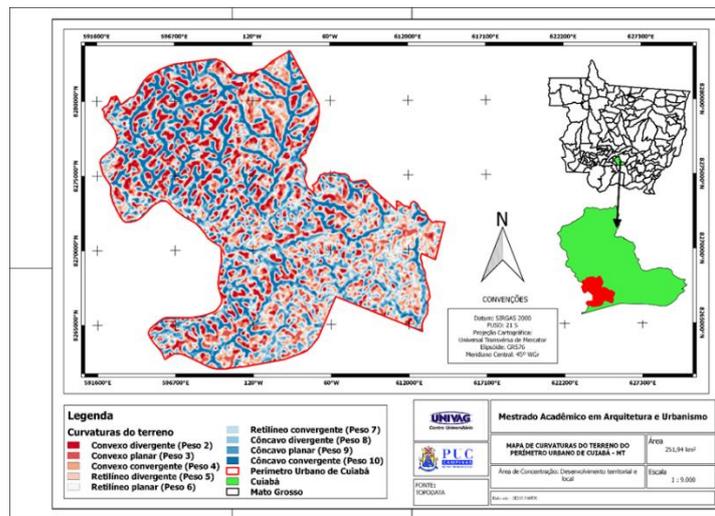


Fuente: Autoría propia.

Según Valeriano (2008), las curvaturas representan la caracterización de formas terrestres, a las que se asocian directamente la dinámica hidrológica y la dinámica del transporte

de materiales sólidos. Así, se encontró que el 40% del área estudiada presenta taludes con curvatura horizontal convergente o muy convergente, es decir, taludes con mayor potencial de transporte de partículas de mayor tamaño y de erosión por lluvia. En cuanto a la dispersión de la escorrentía, el perímetro urbano de Cuiabá presentó el 12,41% de las áreas mapeadas con estas características, representadas por las clases convexas de curvatura del terreno, distribuidas espacialmente en áreas de dispersión con mayores altitudes y relieve ondulado, representadas por coloración en tonos de rojo en la Figura 4.

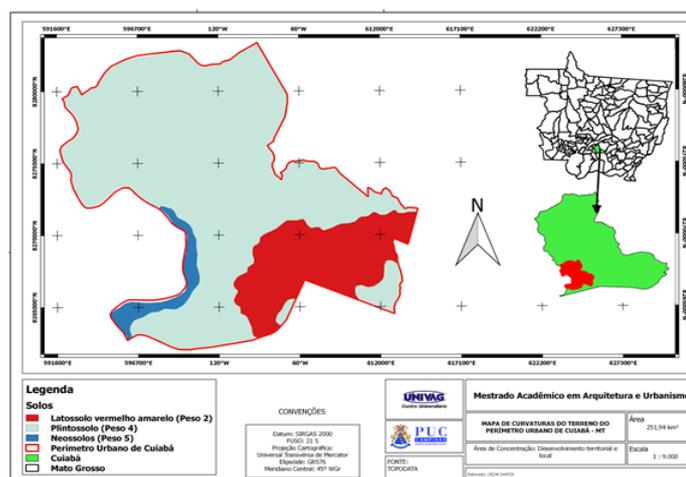
Figura 4: Mapa de curvatura del terreno.



Fuente: Autoría propia.

El mapa pedológico del perímetro urbano de Cuiabá mostró un 69,23% de suelo clasificado como plintosoles (fig. 5). Este suelo tiene una característica arenosa con alta textura y baja permeabilidad, siendo catalogado como de alto grado de fragilidad por tener una baja tasa de infiltración, lo que potencia los procesos de erosión y arrastre de sedimentos en períodos de lluvia intensa y prolongada, provocando movimientos de masas y sedimentación.

Figura 5: Mapa pedológico.



Fuente: Autoría propia.

Los valores del IVS clasificados como muy altos se distribuyen en los sectores censales “510340310420038” y “510340310420033” denominados Residencial Santa Inês y Residencial São Carlos (figura 6). Los valores que categorizaron a estos sectores como de muy alta vulnerabilidad social fueron la densidad urbana con valores superiores a 328.878 hab/ha, la media de 2,34 habitantes por vivienda, el 14,89% de la población menor de 12 años y el 2,5% mayor de 65 años, con una tasa de dependencia en torno al 17,47%. Otros indicadores se consideraron importantes para clasificar la vulnerabilidad social de estos sectores, como los ingresos, estando representados por un 18,59% de personas sin salario y un 10% percibiendo solo un salario mínimo. La variable analfabetismo tuvo la mayor representación, alcanzando la representación de casi la mitad de la población residente en estos sectores (46,30%). Analizando la distribución espacial de la vulnerabilidad, la clase “Alta” obtuvo un porcentaje de 1.03%. Este porcentaje está asociado a viviendas de interés social, como los grupos verticales Terra Nova, Paiaguás y Alvorada. Los indicadores que caracterizaron a estos conjuntos habitacionales como altamente vulnerables fueron: el promedio de 2.51 habitantes por unidad habitacional, la tasa de dependencia entre 22% y el indicador de ingresos del 17%, que representa a la población que no tiene ingresos o que gana siquiera un salario mínimo. Otro factor relevante es que la tasa de analfabetismo ronda el 46%.

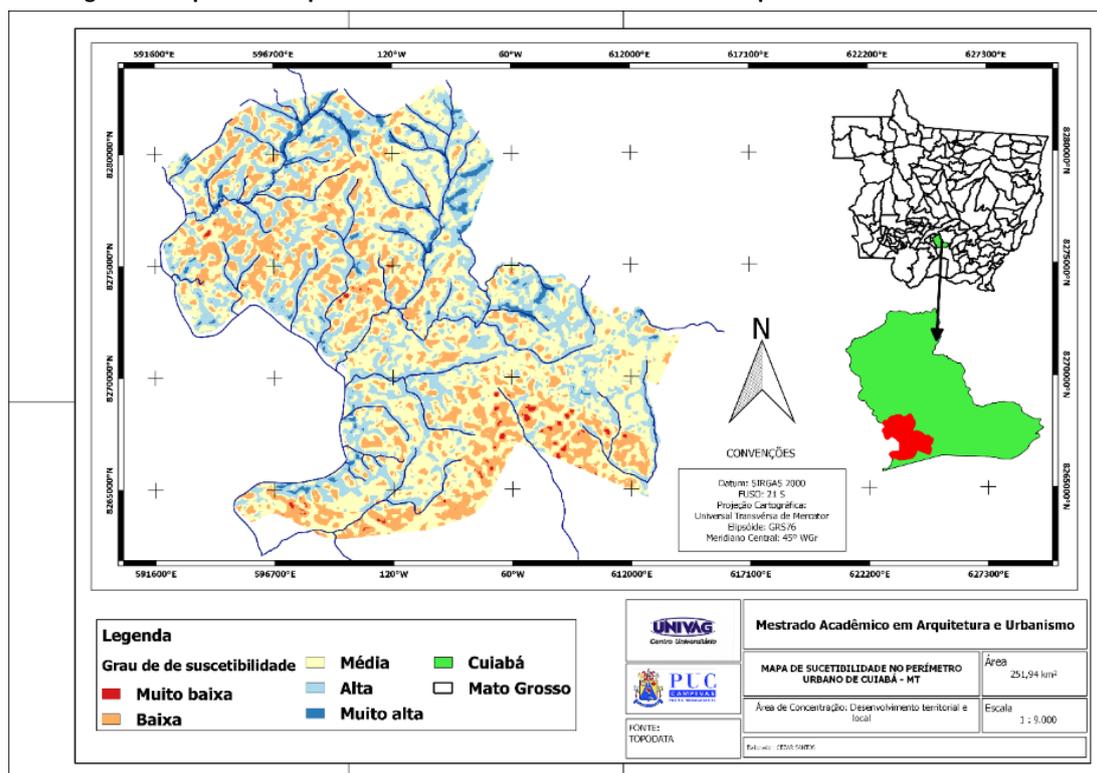
Al asociar la vulnerabilidad social elaborada a partir del estudio desarrollado por Goerl, Kobiyama y Pellerin (2012), se hizo evidente, al igual que en el estudio de los autores, que los sectores con alta vulnerabilidad no están asociados con la fragilidad ambiental, sino con el riesgo de exposición de los habitantes al peligro de eventos de origen natural, debido a las circunstancias de exposición. Esto demuestra que, en inundaciones y crecidas, las características físicas de la cuenca del río juegan un papel más importante en la construcción del riesgo que las condiciones de vulnerabilidad.

neosuelos con alto grado de fragilidad hídrica y el modelo de curvatura cóncavo-convergente que permite la acumulación de movimientos de masa en las áreas planas de relieve.

En cuanto a los datos socioeconómicos, el modelo mostró que las áreas de alta y muy alta susceptibilidad fueron espacializadas, principalmente en regiones ocupadas por población de bajos ingresos, con baja densidad poblacional. Para McHarg (1968) tal disociación entre movimiento social y naturaleza se justifica debido al hallazgo de que el estándar económico asumió un papel poco ético para la ecología, dada la intensa exploración de la naturaleza, mientras que los campos de la sociología, la historia, los gobiernos y las leyes parecen ignorar tal situación y degradación del medio ambiente.

Según Zamparoni (2014) en Cuiabá, la mayoría de las áreas de riesgo de inundaciones se ubican en las riberas del río Cuiabá y alrededor de sus arroyos urbanos, debido a ocupaciones irregulares formadas por grillos y propiedades indocumentadas, asociadas a población de bajos ingresos. Asimismo, el autor señaló que las inundaciones ocurridas entre los años 40 y 2000 siempre estuvieron asociadas al régimen hidrológico y pluvial de la cuenca del río Cuiabá.

Figura 7: Mapa de susceptibilidad a inundaciones e inundaciones del perímetro urbano de Cuiabá.



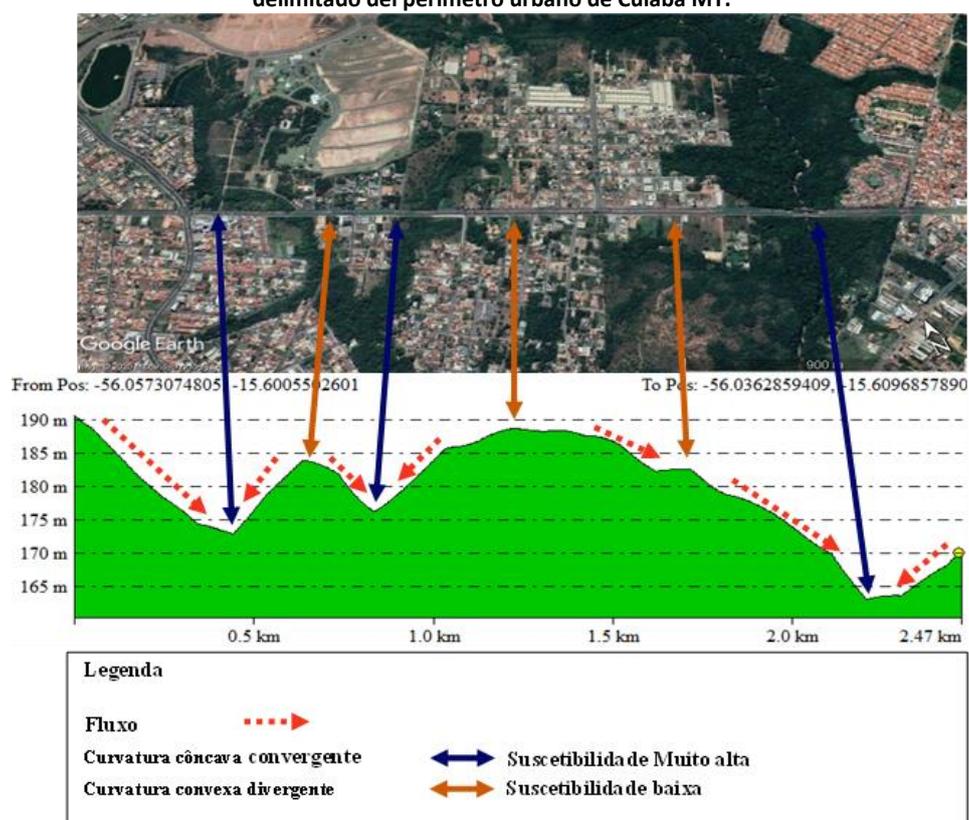
Fuente: Autoría propia.

En un tramo delimitado de 2,47 km, en una de las vías principales del municipio de Cuiabá, se puede observar que el perfil horizontal del terreno mostró la espacialización del modelo de curvatura cóncava-convergente (figura 8) y, en los tramos caracterizados como valle de fondo, con presencia de cursos de agua insertados en áreas de preservación permanente (APPs). A su vez, en las secciones con el modelo de curvatura convexo-divergente (figura 6), el

perfil mostró que estas áreas tienen características antrópicas, con la implementación de conjuntos residenciales con altos índices de impermeabilidad del suelo.

Nascimento y Costa (2019) identificaron características peculiares en áreas de alta susceptibilidad, y que estas regiones tienen un relieve plano --cerca de las redes de drenaje, donde se ubican las llanuras aluviales-- combinado con la presencia de superficies densamente ocupadas e impermeabilizadas debido al proceso de urbanización.

Figura 8: Perfil horizontal que muestra las áreas de susceptibilidad a inundaciones e inundaciones en un tramo delimitado del perímetro urbano de Cuiabá MT.



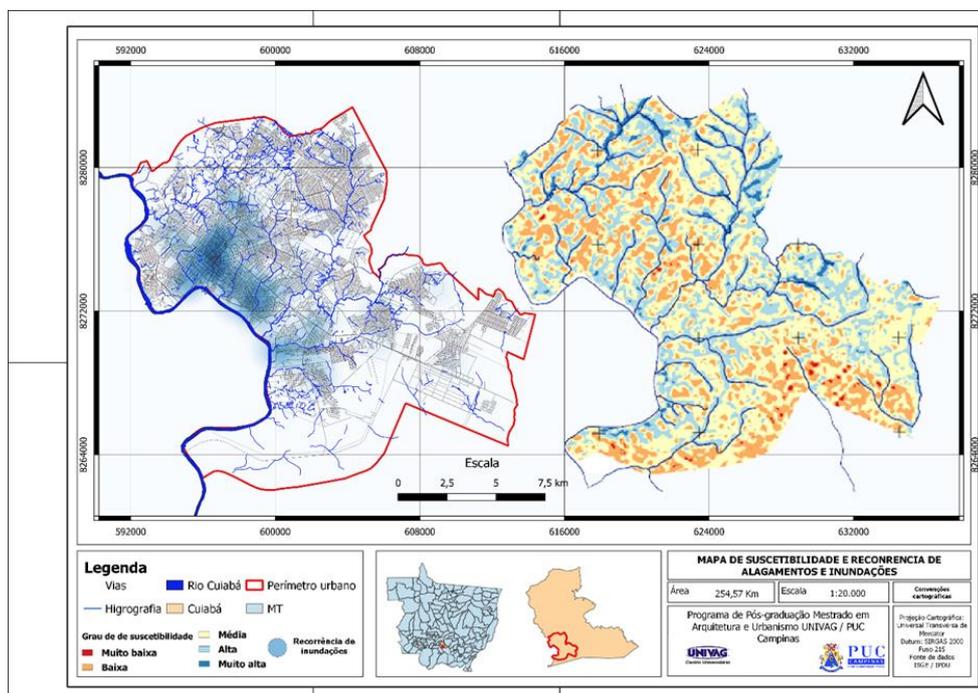
Fuente: Autoría propia.

Con la información sobre la ocurrencia de inundaciones y crecidas relevada en una escala de tiempo de 45 años, y modelada mediante una técnica de interpolación, fue posible observar la recurrencia de casos de inundaciones en los barrios de Cuiabá.

En la Figura 9 se puede observar que los parches récord de inundaciones se concentran en la Región Central y en las márgenes del río Cuiabá. Dicha concentración está asociada con cinco registros de ocurrencia reportados en la serie histórica. Los barrios Alvorada, Bosque da Saúde, Cohab São Gonçalo, Despraiado, Jardim Cuiabá, Jardim Europa, Jardim Petrópolis, Parque Georgia, Praeiro y São Gonçalo Beira Rio tuvieron tres registros de recurrencia: la mayoría de los barrios reportados bordean los arroyos urbanos y el río principal de la capital. En el resto, 11 barrios tenían dos registros y 16 barrios solo tenían un registro basado en la serie histórica de los últimos 45 años.

Al comparar el modelo generado por los registros de ocurrencia con el modelo de matriz de decisión, es evidente que las áreas clasificadas como de alta y muy alta susceptibilidad están asociadas con la red de drenaje municipal y que el volumen concentrado después de eventos de precipitación con alta intensidad y bajo tiempo de duración de aguas arriba a aguas abajo hacia su cauce principal “Río Cuiabá”, debido a las características físicas de relieve, altitud y curvaturas del terreno. Esta concentración de caudal máscico de agua llega a barrios sin infraestructura urbana, ocupados irregularmente, con población clasificada como de vulnerabilidad social media a alta.

Figura 9: Recurrencia de inundaciones en el perímetro urbano de Cuiabá.



Fuente: Autoría propia.

5 CONCLUSIÓN

La metodología aplicada en este estudio tiene un carácter inédito ya que utilizó como parámetro principal el uso de modelos de curvatura del terreno para identificar estos eventos. Valeriano (2008) elaboró un documento técnico para orientar el uso de datos TOPIDATA para análisis geomorfométricos. Si bien existen varias metodologías que utilizan SIG y parámetros físicos para identificar áreas de vulnerabilidad a inundaciones y crecidas, no se identificaron referencias al uso de modelos de curvatura del terreno en la identificación de estos fenómenos como elemento principal de análisis.

Sobre la generación del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) para el mapeo de clases de vulnerabilidad en el perímetro urbano de Cuiabá, este índice presentó información relevante para identificar áreas clasificadas como de muy alta y baja vulnerabilidad. Si bien los datos del censo de 2010 no expresan el escenario actual de uso y ocupación del suelo en la ciudad, el

índice ayudó a observar que las áreas con baja vulnerabilidad social se asocian principalmente con baja densidad urbana, demostrando que el entramado urbano de la ciudad tiene grandes vacíos urbanos en algunas regiones y ocupaciones de gran magnitud en otras regiones. Se refiere al IVS asociado para el mapeo de riesgos. Estas variables están directamente correlacionadas con el riesgo de exposición de los habitantes al peligro de eventos de origen natural, debido a las circunstancias de exposición, y no a la susceptibilidad de exposición a los riesgos de inundaciones.

El desarrollo de esta investigación se basó en contribuir al desarrollo de una metodología accesible y de fácil aplicación para la Capital del Estado de Mato Grosso y en cualquier región. La idea es que esta metodología ya no se aplique de manera experimental y ahora se considere como una herramienta de asistencia en la gestión de riesgos en los Municipios que deben cumplir con el Decreto N ° 10.692/2021, ya que deben realizar el registro municipal nacional de áreas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones repentinas en el plazo de un año, a contar desde la fecha de inclusión en el Registro Nacional del Plan de Contingencia de Protección y Defensa Civil, sujeto a lo establecido en el § 7 del art. 3-A de la Ley N ° 12.340, de 2010.

Es importante destacar que esta propuesta metodológica se desarrolló a partir de técnicas de geoprocusamiento y geoestadística, utilizando datos espaciales y georreferenciados provenientes de fuentes libres y de referencia, con énfasis en el uso de ponderaciones estadísticas para parámetros del entorno físico y socioeconómico, y validado con fuentes de referencia para componer el escenario para modelar áreas de vulnerabilidad a inundaciones y crecidas. Lo más importante es que los usuarios podrán utilizar ponderaciones estadísticas para generar modelos similares en otras regiones, sin realizar el procedimiento de validación estadística.

Teniendo en cuenta el tema específico del actual Plan Director del Municipio de Cuiabá (Ley Complementaria 150/2007), la metodología puede ayudar a los gestores, así como a los gestores de todo el país, a realizar la zonificación de las zonas de riesgo, e incorporarlas a los directores de planes y zonificación, con el fin de asegurar el seguimiento de estas áreas de manera planificada. El artículo 42A de la Política Nacional de Defensa y Protección Civil (Ley nº 12.608/12) establece que las áreas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones deben ser incluidas en los planes maestros de los municipios. La misma ley también señala que es necesario realizar el mapeo de áreas susceptibles, para que se pueda realizar una adecuada planificación.

6 REFERENCIAS

BARTELS, C. J.; VAN BEURDEN, A. U. C. J. Using geographic and cartographic principles for environmental assessment and risk mapping. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 61, p. 115-124, 1998.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal. 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: Entrelinhas, 2008.

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

Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade

ISSN 2675-7524 / v. 2, n. 6 (2021)

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

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

HILL, A.; CUTTER, S. L. Methods for determining disaster proneness. In: CUTTER, Susan L. (ed). **American Hazardscapes: the regionalization of hazards and disasters**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2001. p. 13-36.

MENEZES, D. J.; SCOTTI, A. A. V. Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010. In: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. (Org.). **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora UFSM, 2013. p. 163-179.

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

RAMÍREZ, P. E.; EDESIO, J. M.; BRAZAOLA, A. Metodología para crear mapas de peligros naturales em Guipúzcoa utilizando SIG. **GeoFocus** (Artículos), [S. l.], n. 5, p. 250-267, 2005.

SAATY, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 234-281, jun. 1977.

TUCCI, C. E. M. Estimativa do volume para controle da drenagem no lote. In: Seminário Nacional de Drenagem Urbana, 2., 2007, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: ABRH, 2007.

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

ZAMPARONI, C. A. G. P. Análise de mapeamentos de áreas de riscos hidrológicos em Cuiabá/MT/Brasil. In: Congresso Internacional, 3.; Simpósio Ibero-Americano, 1.; Encontro Nacional de Riscos, 8., 2014, Guimarães. **Anais [...]**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2014.