

## OS IMPACTOS DA DRENAGEM SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS NA INFRAESTRUTURA DE TRECHOS DE VIAS DO PERÍMETRO URBANO DO MUNICÍPIO DE SANTARÉM, PARÁ, BRASIL

The impacts of rainfall water surface drainage in the infrastructure of urban  
streets segments at municipality of Santarém, Pará, Brazil

Rodolfo Maduro Almeida  
Universidade Federal do Oeste do Pará  
[rodolfo.almeida@ufopa.edu.br](mailto:rodolfo.almeida@ufopa.edu.br)

Aceito: 03/07/2020

Recebido: 11/04/2020

**RESUMO:** Este artigo apresenta os resultados de um estudo de caso que investiga a influência da drenagem superficial de águas pluviais na infraestrutura das vias do perímetro urbano do município de Santarém, estado do Pará, Brasil. Assim como muitas cidades brasileiras, Santarém vem sofrendo forte urbanização e crescimento desordenado, com o surgimento de bairros periféricos desprovidos de infraestrutura. Considerável proporção da malha viária urbana do município é carente de infraestrutura de drenagem de águas pluviais, com a prevalência da drenagem superficial, com surgimento de diversos pontos de alagamentos e fortes enxurradas, causando prejuízos e transtornos aos moradores das áreas afetadas, e comprometendo a infraestrutura das vias, com o surgimento de buracos, valas e crateras. A metodologia utiliza um índice de análise hidrológica, denominado Índice Topográfico de Umidade (ITU), que indica áreas propensas a ocorrência de intensos escoamento superficial. Dados de ocorrência de enxurradas e alagamentos do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres do Ministério das Cidades foram utilizados juntamente com o ITU para fazer um zoneamento de áreas propensas a eventos de escoamento superficial das águas pluviais. Este zoneamento foi utilizado para delimitar trechos da malha viária potencialmente impactados. Registros fotográficos desses trechos confirmam o principal resultado dessa pesquisa que é a aplicabilidade do ITU para identificar trechos de malha viária com infraestrutura impactada por consequência da drenagem superficial. A partir destes resultados, como direcionamentos futuros, apontamos o potencial uso desse estudo para planejamento estratégico e zoneamento de infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais no município.

**Palavras-chave:** Análise hidrológica; Drenagem Superficial de águas pluviais; Índice topográfico de umidade.

**ABSTRACT:** This article is a case study that investigates the influence of surface rainwater drainage on the infrastructure of the urban perimeter roads in the municipality of Santarém, state of Pará, Brazil. Like many Brazilian cities, Santarém has been undergoing strong urbanization and disorderly growth, with the emergence of peripheral neighborhoods very lacking in urban infrastructure. The majority of the municipality's urban road network lacks rainwater drainage infrastructure, with the prevalence of surface drainage, with the emergence of several points of flooding and heavy runoff, causing damage and inconvenience to the residents of the affected areas, and compromising the infrastructure of the roads, with the appearance of holes, ditches and craters. The methodology uses a hydrological analysis index, called Topographic Wetness Index (TWI), which indicates propitious areas to the occurrence of intense surface runoff. Flood and runoff data from the Ministry of Cities Integrated Disaster Information System were used together with the TWI to delineate propitious areas to flood events. This delimiting was used to identify potentially impacted perimeters of the road network. Photographic records of these perimeters confirm the main result of this research, which is the applicability of the TWI to identify the coverage of runoff and floods impacts under the urban road network infrastructure. This study points the future work is the use of this study for strategic planning and zoning of drainage infrastructure and rainwater management in the municipality.

**Keywords:** Hidrological analysis; Rainfall water surface drainage; Topographic wetness index.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a série histórica dos censos demográficos registrada nos últimos 70 anos mostra que vivenciamos um gradativo e intenso processo de urbanização. Conforme apresentado em IBGE (2019), na década de 1940 a população urbana era de 31,24%. Entre os anos 1960 e 1970 a população urbana ultrapassou a rural, e conforme o Censo de 2010, a população urbana já é de 84,38%. Esse processo de urbanização não foi acompanhado com a devida atenção pelos gestores dos centros urbanos, ocasionando uma série de problemas sociais, econômicos e ambientais, como surgimento de periferias, aumento da violência, congestionamentos, escassez e precarização de serviços públicos básicos, insuficiência ou ausência de saneamento básico, alagamentos, inundações, enchentes, desmatamento, contaminação de mananciais, habitações em áreas de risco, entre outros problemas.

Para evitar, combater e mitigar esses problemas, o Congresso Nacional aprovou a Lei Federal nº 10.257/01, que fundamenta a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor, e estabelece as competências e atribuições dos poderes executivos e legislativos municipais para lidar com intervenções e propor soluções (CARVALHO, 2001). Para que haja planejamento urbano, torna-se imprescindível que se tenha um plano diretor, que é um mecanismo fundamentado em lei municipal que orienta o uso e a ocupação do solo urbano, ponderando interesses coletivos e difusos, com as questões ambientais, culturais, históricas e de econômicas.

Além do Plano Diretor, enfatiza-se também aqui o Plano Municipal de Saneamento Básico. Regulamentado pela Lei nº 11.445/2007, também se trata de uma lei municipal, e contempla diretrizes e ações envolvendo as quatro questões básicas de saneamento, que são, o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos, e a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Destas quatro questões básicas abordadas no Plano Municipal de Saneamento Básico, o tratamento dado às águas advindas das chuvas é o tema central deste artigo. Durante eventos de chuva, as águas pluviais devem ser captadas por sistemas de coletas de galerias ou esgotos, e direcionadas para serem lançadas em cursos d'água, lagos, lagoas, baías ou no mar. Lidar com águas pluviais é um dos grandes desafios na gestão pública, pois requerem grandes investimentos em obras de captação e canalização que aproveitem o sistema de drenagem natural de microbacias urbanas (DE SOUZA, 2013).

Quando a cidade não lida adequadamente com essa questão, somado ao predomínio do crescimento urbano desordenado, uma ausente ou inapropriada política de uso e cobertura do solo, tendo como consequência principal uma alta taxa de impermeabilização do solo, surgem problemas como enxurradas, alagamentos e inundações, cujas definições, conforme MINC/IPT (2007), são apresentadas a seguir. A enxurrada é o transporte superficial de águas pluviais com alta quantidade de energia. O alagamento é o acúmulo momentâneo de águas pluviais em determinados locais por conta da deficiência no sistema de drenagem. A inundação ocorre quando

ocorre o transbordamento das águas de um curso d'água. Nos centros urbanos, estes eventos põem em risco vidas das pessoas que ali residem e causam muitos prejuízos nas áreas onde ocorrem. Neste trabalho vamos lidar com eventos de enxurrada e alagamento, que são consequência de um intenso processo de escoamento superficial.

Mesmo diante dessa realidade problemática, o planejamento urbano surge como uma ferramenta essencial para se realizar um diagnóstico da realidade dos centros urbanos, e junto com as condicionantes legais, sociais, econômicas, históricas e culturais da realidade do espaço urbano, projetar o futuro em relação ao uso e ocupação do espaço urbano (Souza e Rodrigues, 2004). As geotecnologias são um grande aliado nessas ações, com destaque ao uso dos Sistemas de Informações Geográficas, que são recursos computacionais que permitem produzir, organizar, manipular e disseminar informações sobre o espaço urbano, permitindo inúmeras aplicações relacionadas com a gestão e o planejamento do espaço urbano (SILVA et al., 2017).

O espaço urbano é uma estrutura complexa que depende de condicionantes históricas, culturais, sociais, econômicos e ambientais. Planejar e gerir o espaço urbano é uma tarefa dispendiosa e que requer muita atenção. De acordo com Souza e Rodrigues (2004), a principal diferença entre os termos "gestão urbana" e "planejamento urbano" é o horizonte temporal, mas os dois se complementam. O planejamento urbano se foca no futuro, e se propõe a prever o espaço urbano, dado um prognóstico do cenário atual, considerando as condicionantes mencionadas anteriormente. A gestão urbana se foca no presente e é relacionada a ações administrativas rotineiras que demandam resultado imediato. Os dois termos se complementam, pois, o planejamento é uma ferramenta de gestão que permite estruturar um caminho de ações de maneira racional.

Teoricamente, as ações de gestão e planejamento urbano devem se estruturar no levantamento, no processamento e na análise informações, permitindo compreender o espaço urbano. No atual estágio tecnológico, o ambiente informatizado é essencial para o cumprimento dessas tarefas, e as geotecnologias têm colocado o cidadão comum frente a frente com a realidade do espaço onde vive, com o uso do computador e de dispositivos móveis. O amplo acesso à informação geográfica, por meio do uso da Internet, tem trazido à tona discussões relevantes sobre o papel das geotecnologias ante a gestão do espaço urbano.

De uma maneira geral, as geotecnologias compreendem um conjunto de ferramentas que possibilitam tratar informações referenciadas geograficamente. Dentre estas ferramentas, mencionamos aqui o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Conforme Burrough e McDonnell (1998), um SIG é um ambiente computacional usado para coletar, armazenar, manipular, produzir e disseminar informações geográficas. Um banco de dados geográfico armazena as informações geográficas provenientes de diferentes fontes (levantamentos cartográficos, dados censitários, imagens de sensoriamento remoto, dados de sistema global de navegação por satélite etc.), e permite o uso integrado destas informações, onde a localização geográfica é utilizada como fator de análise integração para a análise das informações. O

geoprocessamento apresenta-se como a materialização do conceito de SIG, e consiste no processamento computacional de informações georreferenciadas. Com esses recursos, os gestores garantem um papel fundamental como agentes construtores, fiscalizadores e provedores de informação sobre o espaço urbano (FARINA, 2006; SILVA et al., 2017). Inúmeras são as aplicações do SIG em planejamento urbano, onde podemos citar levantamento cartográfico, cadastro de moradias, planejamento de infraestrutura de serviços públicos, segurança pública, entre outros.

É nesse contexto que esse trabalho se insere. Como objeto de estudo, foi escolhida a cidade de Santarém, uma cidade de médio porte situada na região oeste do estado do Pará, o principal centro financeiro, urbano, comercial e cultural da região. Assim como muitas cidades brasileiras, a cidade de Santarém vem sofrendo forte urbanização e crescimento desordenado, com o surgimento de bairros periféricos desprovidos de infraestrutura. Durante o período chuvoso, dada a carência de infraestrutura de drenagem de águas pluviais na maioria das vias urbanas, a drenagem superficial predomina, favorecendo a ocorrência de inúmeros pontos com intenso escoamento superficial e alagamento. O trânsito é momentaneamente interrompido nesses pontos. Estes eventos também causam prejuízos, pois a água invade estabelecimentos comerciais e residências, colocando inclusive em risco a vida das pessoas atingidas. Além disso, o escoamento superficial causa impactos sobre a infraestrutura das vias. Vias não pavimentadas ficam com o leito comprometido, pois a drenagem superficial favorece o surgimento de buracos e crateras, tornando-as inclusive intrafegáveis. Vias pavimentadas também tem sua infraestrutura prejudicada, pois a drenagem superficial induz patologias no revestimento asfáltico.

Neste trabalho, vamos nos ater a abordar sobre a temática do geoprocessamento aplicado no planejamento urbano para identificação de áreas propensas a incidência de forte escoamento superficial, e como estas impactam sobre a estrutura malha viária. O objetivo geral é aplicar ferramentas de análise espacial e análise hidrológica para identificar trechos da malha viária com infraestrutura potencialmente impacta pela drenagem superficial de águas pluviais. Para alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos são: utilizar ferramentas de análise hidrológica para o zoneamento de áreas do perímetro urbano que são propensas a intensos processos de escoamentos superficiais de águas pluviais; partindo do zoneamento, identificar trechos da malha viária propensos a sofrer impactos na infraestrutura; e, por fim, utilizar registros fotográficos para verificar a eficácia da delimitação.

Este texto está estruturado em quatro seções. Além dessa introdução, a seção 2 apresenta a fundamentação teórica desse trabalho, onde são discutidos conceitos e definições sobre planejamento urbano, geoprocessamento e análise hidrológica. A seção 3 apresenta a metodologia desta pesquisa, apresentando a localização da área de estudo e destacando as ferramentas, softwares e procedimentos utilizados nessa pesquisa. Os resultados são apresentados na seção 4, e as conclusões na seção 5.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de caso, onde uma análise espacial é proposta, juntamente com o uso do ITU, para verificar os impactos da drenagem superficial sobre trechos da malha viária urbana do município de Santarém. Para isto, os procedimentos metodológicos foram realizados em três etapas: pré-processamento, processamento, e delimitação e verificação. Foi utilizado o software QGIS Desktop, versão 3.10.0. Nesta seção, apresentaremos inicialmente a área de estudo e, descrevemos o cálculo do ITU e sua aplicação e, por fim, detalhamos o fluxograma das etapas realizadas no desenvolvimento desse trabalho.

### Área de estudo

Neste trabalho, o ambiente geográfico de estudo é a área urbana do município de Santarém, estado do Pará, conforme o mapa apresentado na Figura 1. A cidade de Santarém é uma cidade ribeirinha, situada na foz do rio Tapajós, na confluência com o rio Amazonas. De acordo com os dados da estimativa populacional fornecidos pelo IBGE (IBGE, 2019), em 2019 a população do município de Santarém é de 304.589 habitantes, sendo então o terceiro município mais populoso do estado do Pará, e o sétimo mais populoso da Região Norte. Ainda conforme IBGE (2019), o município ocupa uma área de 22.887,080 km<sup>2</sup>, sendo que 97 km<sup>2</sup> estão no perímetro urbano. Apenas 38,1% da área urbana apresenta esgotamento sanitário adequado e 7,8% das vias apresenta urbanização, o que mostra a precarização dominante na infraestrutura da malha viária urbana.

Uma característica da malha viária urbana de Santarém é que a drenagem de águas pluviais se dá predominantemente por escoamento superficial. A maioria das vias asfaltadas não possuem sistema de galerias para escoamento de águas pluviais. Existem muitas vias ainda não asfaltadas, com revestimento laterítico ou de leito natural. Durante o período chuvoso, o chamado “inverno amazônico”, que ocorre de dezembro a maio, carência de infraestrutura de drenagem de águas pluviais favorecendo a ocorrência de diversos pontos de alagamentos e fortes enxurradas, atingindo muitas residências e interrompendo momentaneamente o trânsito em trechos da malha viária. As vias sem revestimento asfáltico tornam-se intrafegáveis, pois a forte enxurrada provoca erosão, com o surgimento de crateras.

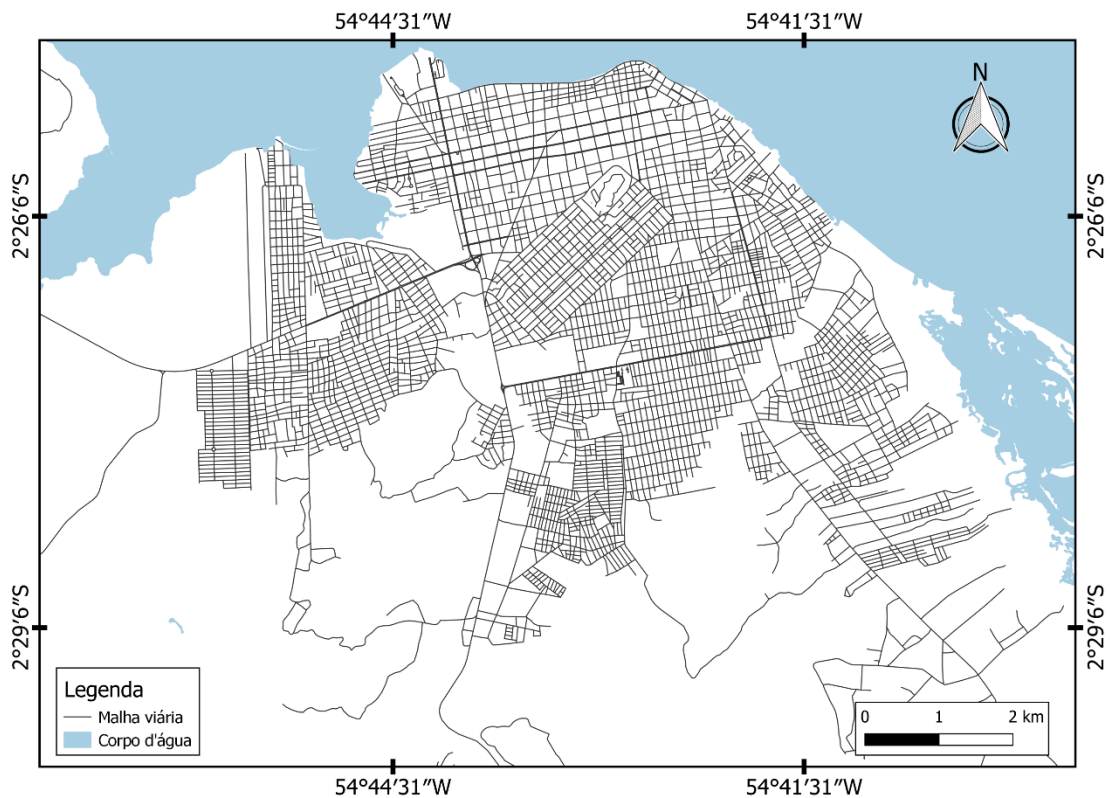
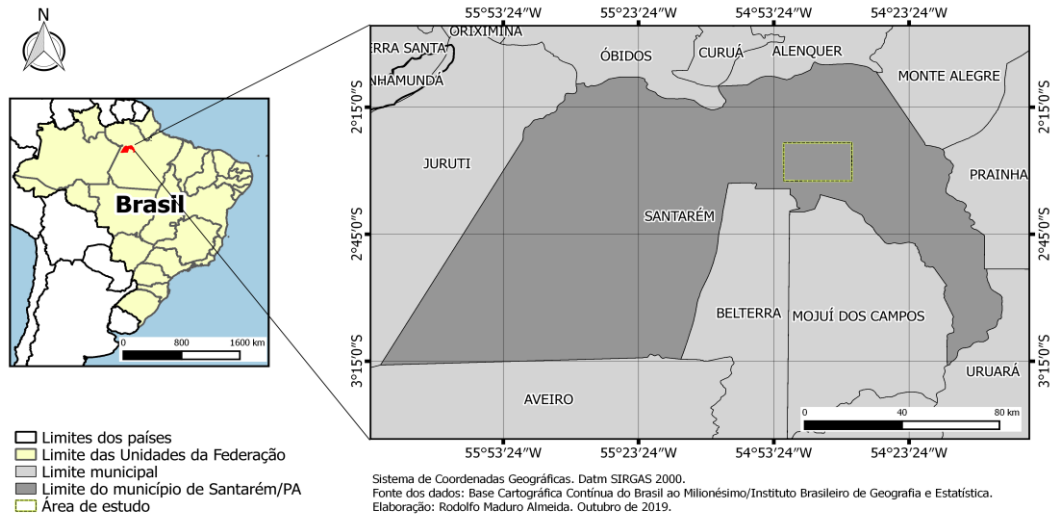


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: O autor.

## **Análise hidrológica para identificação de áreas de intenso escoamento superficial**

Quando lidamos com o uso de métodos quantitativos para o mapeamento de áreas propensas a intenso escoamento superficial, com a consequente ocorrência de alagamentos e enxurradas, e impactos sobre a infraestrutura urbana, é essencial o levantamento e o uso de informações hidrológicas e geomorfométricas da área de estudo. Estas informações permitem descrever o relevo e, por consequência, como este favorece o escoamento superficial da água durante um evento de chuva. Aqui, daremos destaque a duas informações, que são, a área de contribuição, que é uma variável hidrológica, e a declividade, que é uma variável geomorfométrica. Ambas são utilizadas para o cálculo do chamado Índice Topográfico de Umidade (ITU), conforme proposto por Beven e Kirkny (1979).

A fórmula utilizada no cálculo do ITU é:

Equação:

$$ITU = \ln\left(\frac{a}{\tan d}\right)$$

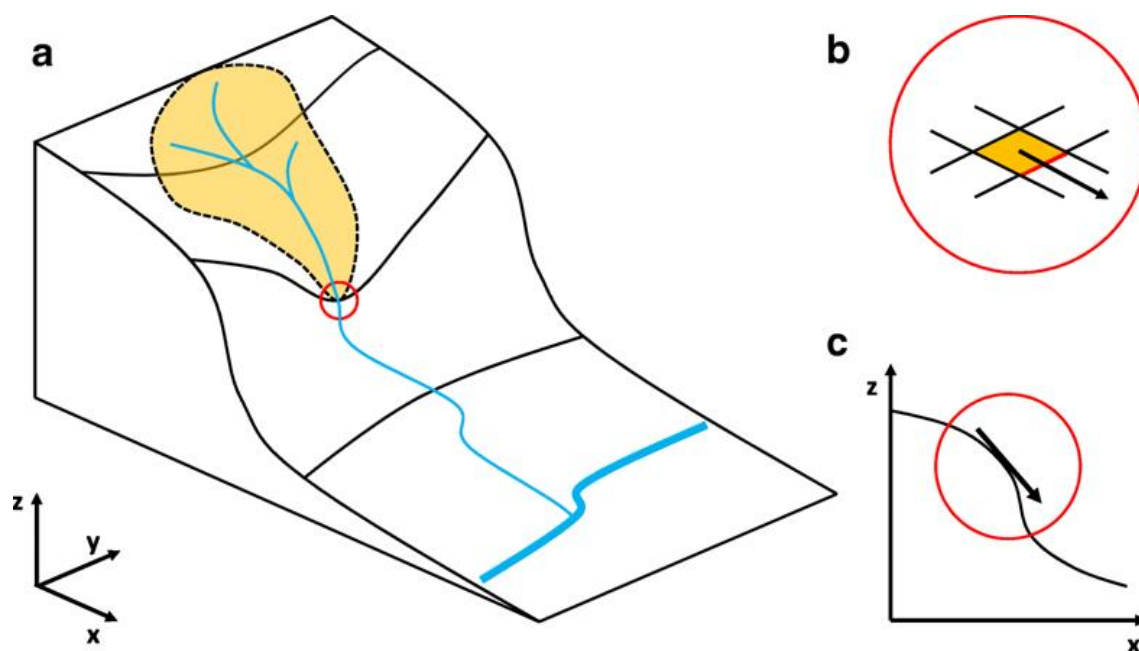
Onde:

$a$  é a área de contribuição, e  
 $d$  é a declividade (em radianos).

A área de contribuição é um valor calculado para um ponto na superfície, e quantifica a área total que favorece o escoamento superficial para esse ponto, e fornece uma medida da quantidade de água que escoou até chegar a esse ponto. A declividade fornece, para um dado ponto na superfície, o ângulo de inclinação da superfície em relação ao plano horizontal, e permite quantificar a força com que o escoamento superficial flui pela superfície. Quanto maior a declividade, mais força tem o escoamento, devido a ação da gravidade. O ITU faz referência à distribuição espacial das zonas mais propícias a saturação hídrica, ao passo que, quanto maior for o valor, maior será a tendência do local à saturação hídrica, isto é, são regiões de escoamento superficial com grande área de contribuição, baixa declividade e relevos mais planos.

A interpretação da fórmula mostra que o ITU é diretamente proporcional à área de contribuição e inversamente proporcional à tangente da declividade. Quando maior for o valor da área de contribuição, maior o valor do ITU. Quando o valor da declividade tende a zero, temos áreas quase planas, a tangente da declividade tende a zero, o valor do quociente  $a/\tan d$  tende a um valor muito grande, e por essa razão temos o logaritmo natural na fórmula, para limitar grandes flutuações nos valores do quociente. Conforme Mattivi et al. (2019), o ITU estima um balanço entre acúmulo de água e

condições de drenagem em escala local. A área de contribuição é uma variável que fornece a tendência de receber água, enquanto a declividade descreve a tendência em escoar a água. A Figura 2 ilustra as variáveis utilizadas no cálculo do ITU, para uma área hipotética representada na ilustração 2(a). Ainda na Figura 2(a), a área de contribuição para o ponto identificado pela circunferência vermelha, corresponde à área delimitada em amarelo. A declividade para esse ponto é indicada pelo ângulo de inclinação da seta em relação ao plano horizontal, conforme exibido em 2(c). O valor calculado do ITU é adimensional. Todo o cálculo do ITU é realizado sobre um modelo numérico de terreno, uma representação computacional discreta da superfície, estruturada em uma grade regular, onde cada elemento dessa grade representa uma região homogênea, e possui um valor de altitude associado. A Figura 2(b) representa a direção do escoamento para o ponto da grade regular. A Figura 2(c) ilustra a declividade, correspondente ao ângulo de inclinação da seta, em radianos, em relação a horizontal.



**Figura 2.** Ilustração da área de contribuição e da declividade para um ponto hipotético. **Fonte:** Mattivi et al. (2019).

O ITU tem sido empregado em diversos estudos hidrológicos e geoquímicos, onde podemos citar identificação de riqueza de espécies de plantas, pH do solo, nível das águas subterrâneas, teor de umidade do solo, entre outros (Soerensen e Seibert, 2006; Hung et al., 2017). Neste trabalho, o ITU é aplicado para quantificar a propensão a uma rápida saturação durante precipitações e locais onde o processo de escoamento superficial é mais atuante (Santos et al., 2018). Áreas que possuem altos valores de ITU são recomendadas para conservação ambiental, dada a sua



importância hidrológica. Se estas áreas forem ocupadas, são propensas a ocorrência de alagamentos e intenso escoamento superficial.

### **Etapas do desenvolvimento da pesquisa**

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa foram realizados em quatro etapas, que são, o pré-processamento, o processamento, a delimitação e a verificação. Na etapa do pré-processamento, foi realizada a coleta e a preparação dos dados georreferenciados. Os dados coletados para essa pesquisa abrangem o modelo digital de elevação da missão SRTM com resolução espacial de 1 arco-segundo, dados pontuais de ocorrência de enxurrada e alagamento referentes aos períodos chuvosos dos anos de 2018 e 2019, obtidos no S2ID (Sistema Integrado de Informações sobre Desastres) junto a Defesa Civil, e a malha viária urbana do projeto OpenStreetMap (OSM, 2019). Também foram utilizados dados da Base Cartográfica Contínua do Brasil ao Milionésimo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A preparação dos dados compreende o recorte espacial para a área de estudo e reprojeção dos dados para projeção UTM (Zona 21 Sul).

Na etapa de processamento, foi realizada a quantificação e a análise espacial. Na quantificação, foram calculadas a área de contribuição e a declividade, para posterior cálculo do ITU. Precedendo o cálculo da área acumulada, foi calculada a direção de fluxo, que é uma variável hidrológica necessária para o cálculo da área de contribuição. Para que seja calculado como a água flui na superfície, e, assim, calcular a área de contribuição, é usado um algoritmo de direção (roteamento) de fluxo, que estabelece a direção do fluxo para cada ponto da malha regular do modelo digital de elevação. Todos esses cálculos foram realizados utilizando ferramentas de análise hidrológica no ambiente do software QGIS. A Figura 3 apresenta o fluxograma de procedimentos para o cálculo do ITU. Na análise espacial, a relação entre o ITU e as ocorrências do S2ID foi investigada. O valor do ITU em cada ocorrência foi obtido. Em seguida, foi realizada uma análise estatística dos valores, que serviram para subsidiar a obtenção do mapa que identifique regiões propensas a intenso escoamento superficial e alagamentos.

Na etapa de delimitação, trechos da malha viária que coincidem com as regiões propensas são delimitados. Em seguida, alguns desses trechos foram selecionados para a verificação. Com o uso de fotografias e matérias publicadas pela mídia foi verificado o impacto da drenagem superficial sobre a infraestrutura desses trechos de vias. A Figura 4 resume as etapas realizadas na pesquisa.

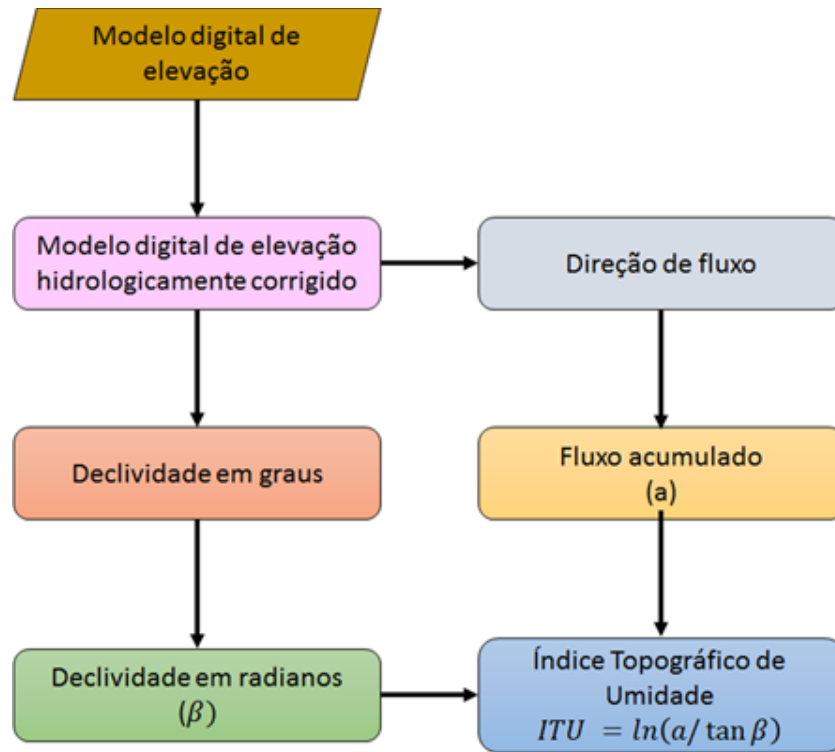


Figura 3. Fluxograma para o cálculo do ITU na etapa de processamento. Fonte: O autor.

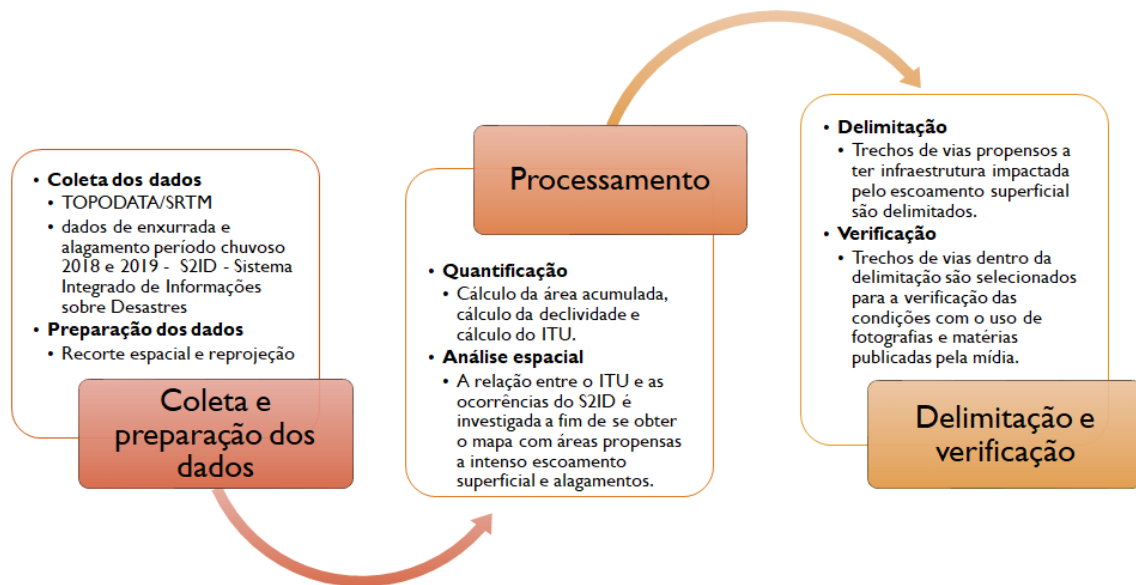
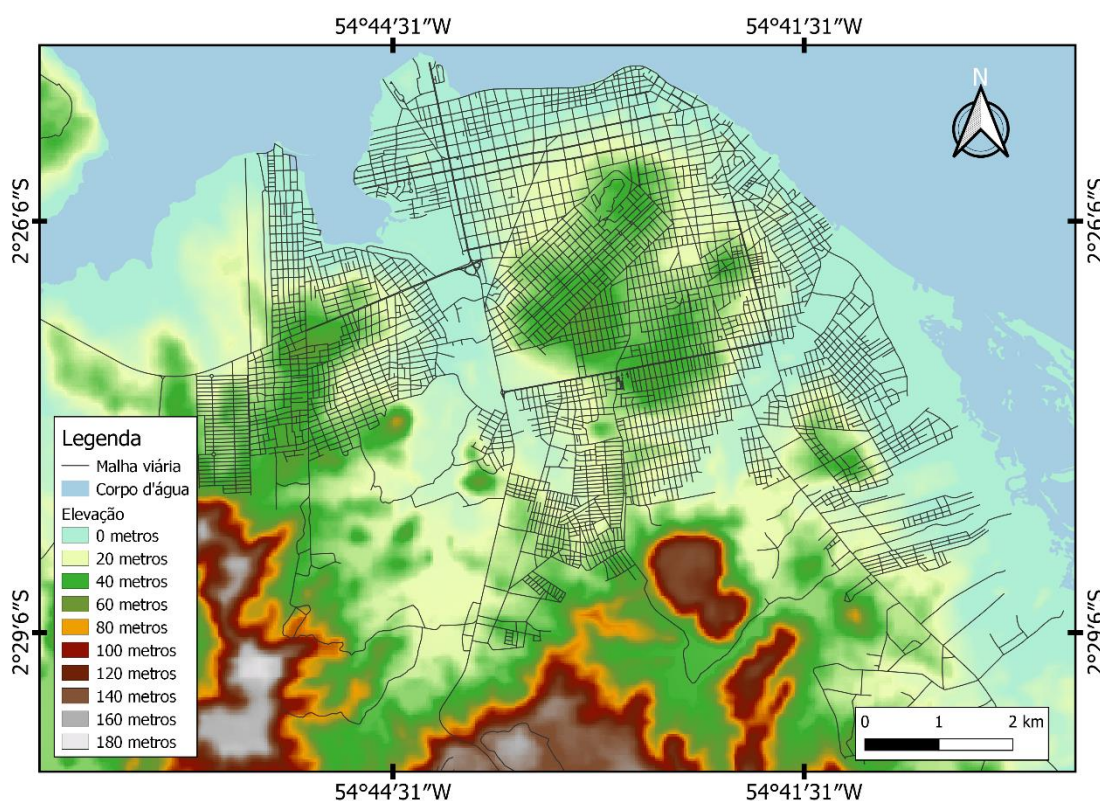


Figura 4. Resumo das etapas do desenvolvimento da pesquisa. Fonte: O autor.

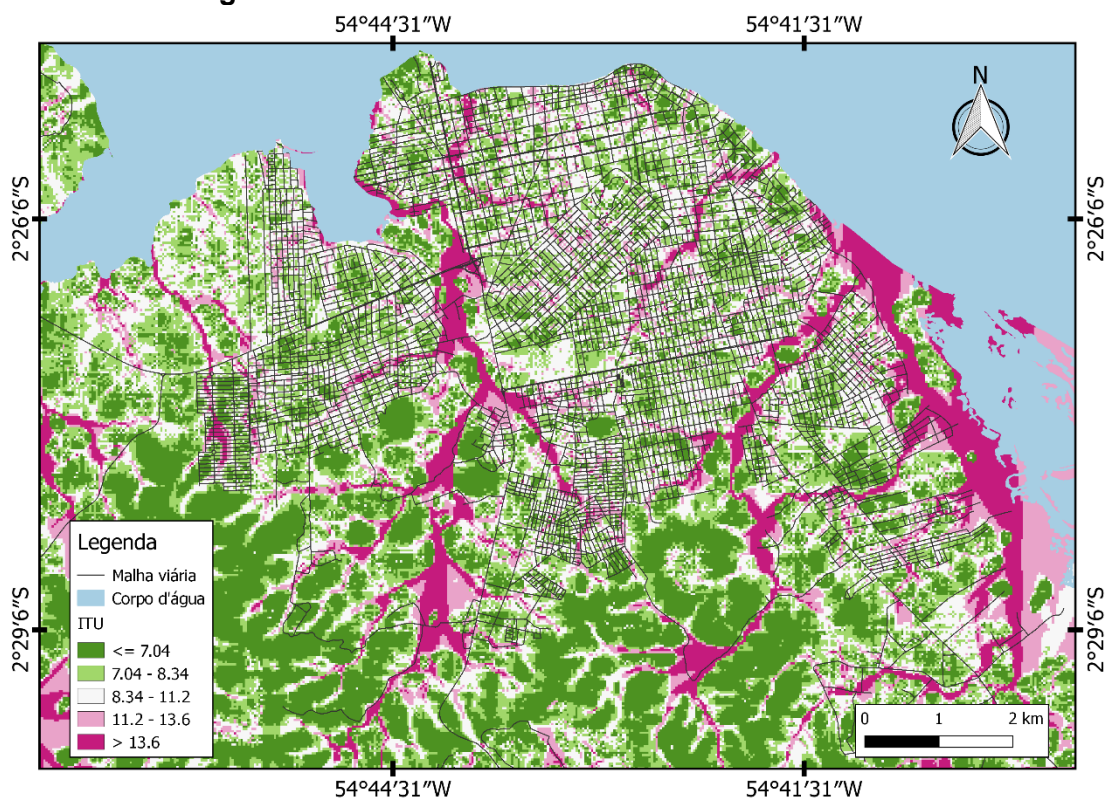
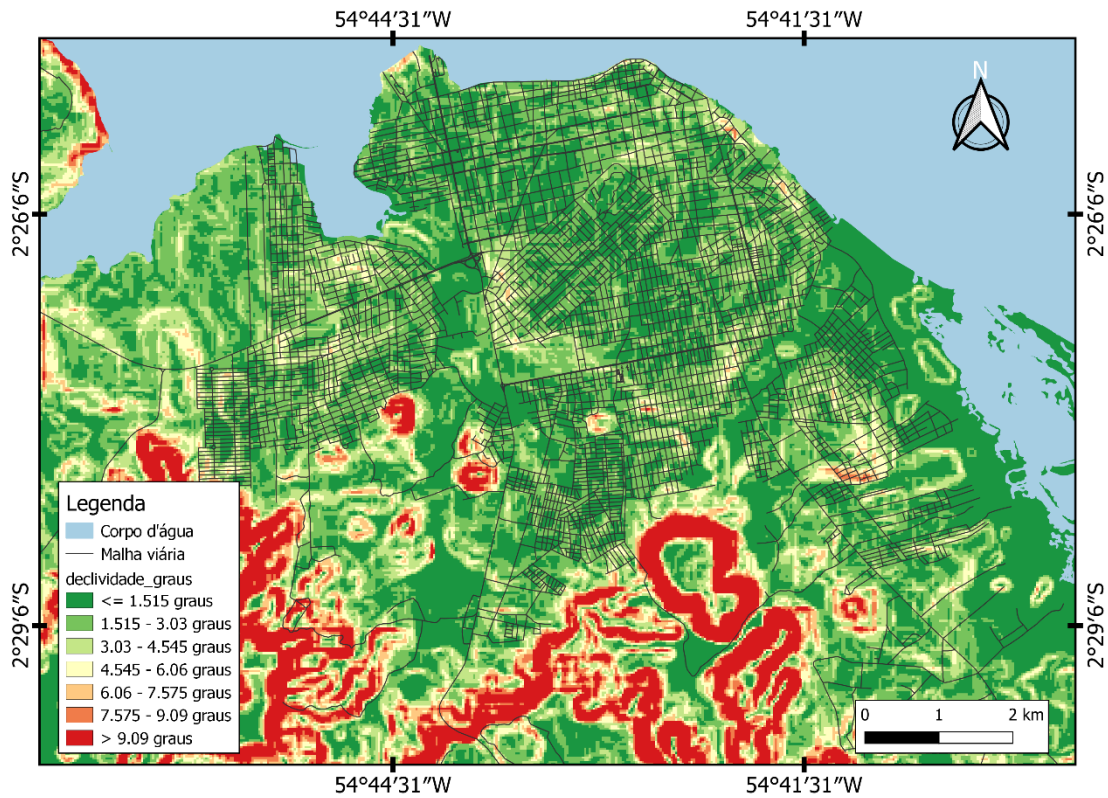
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A principal fonte de informação para o cálculo do ITU é o modelo digital de elevação. A Figura 5 apresenta os valores de altitude do modelo digital de elevação para a área de estudo. Podemos observar que a amplitude total de variação dos valores de elevação para a área de estudo varia de 0 a 180 metros, sendo que para o perímetro urbano a amplitude varia de 0 a 60 metros. A Figura 6 apresenta os valores de declividade, em graus, para a área de estudo. O mapa contendo os valores calculados para o ITU para a área de estudo são apresentados na Figura 7. Os valores de ITU são representados em uma paleta de cores cujos valores variam da cor verde (menores valores) à cor rosa (maiores valores). Os valores menores de ITU estão associados a áreas de maior altitude e com maior declividade. Já os valores maiores de ITU são associados a regiões com menores altitudes e menores valores de declividade.

O ITU é uma importante informação que indicar o potencial de geração de escoamento superficial. Altos valores de ITU significam alto potencial de geração de escoamento superficial, e vice-versa. Adicionalmente, seus altos valores também indicam áreas propensas ao acúmulo de água, logo, com chances de alagamentos, devido à alta concentração de escoamento superficial. Os trechos de malha viária que se sobrepõem a altos valores de ITU têm essas características. Podemos observar no mapa que muitos trechos da malha viária coincidem com áreas com alto valor de ITU.



**Figura 5.** Modelo digital de elevação da área de estudo. **Fonte:** O autor.

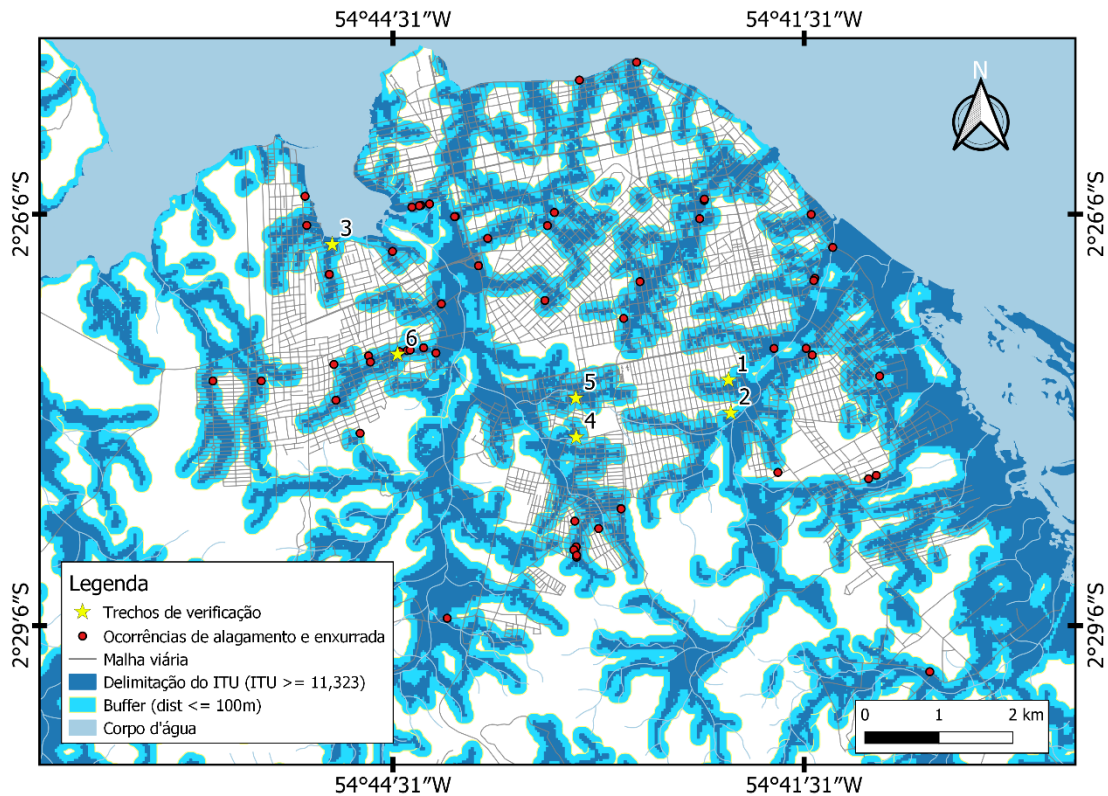


A Figura 8 apresenta o mapa com áreas propensas a intenso escoamento superficial e alagamentos. A localização das ocorrências obtidas no S2ID é apresentada em círculos vermelhos. Sobrepondo os dados de ocorrência de enxurradas e alagamentos obtidos no sistema S2ID, foi possível identificar que eles coincidem com áreas com alto valor de ITU.

Foram registradas 58 ocorrências. Realizando uma análise estatística descritiva dos valores de ITU para os pontos, temos valor mínimo de 6,639, valor máximo de 19,388, mediana de 10,906, valor médio de 11,232, desvio padrão de 3,152, primeiro quartil de 8,464 e terceiro quartil de 13,186. Não foram identificados outliers utilizando a análise de amplitude interquartil (Pinheiro et. al, 2012).

Para realizar a identificação das áreas propensas a intenso escoamento superficial e alagamentos, utilizamos a média como referência, e geramos uma camada que delimita as áreas cujo valor do ITU está acima da média dos valores correspondentes aos pontos das ocorrências. Foi verificado que 48,3% dos pontos caíram sobre a região delimitada. Foi verificado ainda que todos os demais estão a menos de 100 metros dessa região. Logo, utilizou-se como critério para delimitação para áreas propensas a alagamento e enxurrada as áreas cujo valor de ITU é menor que 11,323 e as áreas cuja distância é menor igual a 100 metros destas.

O mapa com a identificação das áreas propensas a forte escoamento superficial e alagamentos é apresentado na Figura 8. Temos duas regiões indicadas no mapa, as áreas onde o ITU é maior ou igual a 11,323, representadas em azul escuro, e as áreas com distância menor ou igual a estas, representadas em azul celeste. O cruzamento dessas regiões com a malha viária permitiu selecionar alguns trechos de vias para verificação da infraestrutura. Os trechos de vias selecionados foram identificados no mapa da Figura 8 por estrelas amarelas, identificadas pela numeração de 1 a 6.



**Figura 8.** Mapa mostrando as áreas propensas a intenso escoamento superficial e alagamentos, localização das ocorrências do S2ID e com a delimitação dos trechos de vias para verificação. **Fonte:** Autor.

O trecho 1 é a Rua São João, no bairro do Diamantino. É um trecho de via com revestimento laterítico, situado uma região que sofre bastante impacto com a drenagem superficial de águas pluviais, com forte erosão e o consequente surgimento de valas e crateras, conforme podemos observar na Figura 9.



**Figura 9.** Trecho de verificação 1, localizado na Rua São João, no bairro do Diamantino. **Fonte:** O autor/Publicação em redes sociais.

O trecho 2 selecionado para verificação é localizado na Rua Edvaldo Leite, no bairro do Santo André. É um trecho de uma via importante do bairro, com revestimento asfáltico e grande fluxo de veículos. Os impactos verificados sobre a infraestrutura da malha viária, conforme podemos observar na Figura 10, são o acúmulo de areia sobre o asfalto, que é conduzida pela enxurrada, e o surgimento de fissuras e panelas (buracos) no asfalto.



**Figura 10.** Trecho de verificação 2, localizado na Rua Edvaldo Leite, no bairro do Santo André. **Fonte:** O autor.

O trecho 3 selecionado para verificação fica localizado na rua Angelim, no bairro do Maracanã. É um trecho de via pavimentado, muito importante para o fluxo de veículos no bairro, que se encontra com infraestrutura comprometida, conforme podemos observar na Figura 11. É possível notar o acúmulo de areia e a remoção de parte do revestimento asfáltico, devido a ação da drenagem fluvial.



**Figura 11.** Trecho de verificação 3, localizado na Rua Angelim, no bairro do Maracanã. **Fonte:** O autor.

Os trechos 4 e 5 selecionados para verificação estão localizados da Travessa Rouxinol, no bairro da Floresta. A Travessa Rouxinol é uma via pavimentada, que cruza o bairro da Floresta, muito importante para o fluxo local de veículos. A via apresenta trechos em que o asfalto que se mantém em boas condições e trechos em que há patologias por conta da drenagem superficial. O trecho 4, coincide com uma área de alta propensão a escoamento superficial e alagamento. Porém, o asfalto apresenta-se em boas condições. A justificativa encontrada pela ausência de patologias é pelo fato de a região dispor de um sistema de galerias para escoamento das águas pluviais, conforme observado na Figura 12. Já o trecho 5, não há sistema de drenagem de águas pluviais, predomina o escoamento superficial, e podemos observar o revestimento asfáltico danificado pelo acúmulo de areia e de água.





**Figura 12.** Trecho de verificação 4, localizado na Travessa Rouxinol, no bairro da Floresta.

**Fonte:** O autor.



**Figura 13.** Trecho de verificação 5, localizado na Travessa Rouxinol, no bairro da Floresta.

**Fonte:** O autor.

O trecho 6 selecionado para verificação é localizado na Rua Tomé de Sousa, no bairro do Santarenzinho. É uma via pavimentada, de extrema importância para o deslocamento do fluxo local de veículos. O trecho selecionado tem o revestimento asfáltico bastante danificado por causa da drenagem superficial de águas pluviais. É um trecho de via que a população local já interditou em protesto a favor de melhoria das condições do revestimento.



**Figura 14.** Trecho de verificação 6, localizado na Rua Tomé de Sousa, no bairro do Santarenzinho. **Fonte:** O autor.

## CONCLUSÃO

O espaço urbano é um ambiente de constante transformação. Embora o relevo apresente uma forma bem definida, as alterações no espaço urbano favorecem o escoamento superficial de águas pluviais ao longo das vias. Embora o relevo se apresente com uma forma bem definida, as transformações presentes no espaço urbano favorecem que drenagem de águas pluviais flua ao longo das vias.

Neste estudo de caso, a aplicação do Índice Topográfico de Umidade como indicativo de propensão à ocorrência de escoamento superficial de águas pluviais mostrou-se satisfatória, uma vez que foi possível verificar que os dados de ocorrência destes eventos localizam-se ou próximos ou sobre áreas onde há um alto valor deste índice. Foi possível identificar as áreas propensas a intenso escoamento superficial e alagamentos a partir de um valor limiar para o ITU (valor médio de ITU da localização das ocorrências) e com o critério adicional de distância de até 100 metros a estas áreas.

Comparado a outros índices de análise espacial presentes na literatura, é possível verificar que não existe uma padronização em torno da interpretação dos valores do ITU. Os valores dependem da forma do relevo e da escala (tamanho das bacias hidrográficas). Por essa razão, justifica-se a identificação das áreas a partir de um valor limiar para o ITU, utilizando como referência a média dos pontos em que já ocorreram alagamentos e enxurradas.

Os trechos de vias delimitados a partir das áreas de propensão a intenso escoamento superficial puderam ser verificados a partir de registros fotográficos, matérias publicadas pela mídia, e ida a campo. O principal resultado dessa pesquisa é a aplicabilidade do ITU, combinado com uso de dados de ocorrência de enxurradas e alagamentos, para identificar trechos de malha viária com infraestrutura impactada por consequência da drenagem superficial. Conforme verificamos nos resultados, os trechos selecionados para verificação sofreram impactos na sua infraestrutura. Avalia-se também que outra contribuição desta pesquisa se dá pelo uso do ITU em conjunto com dados de registros de ocorrências obtidos no S2ID junto a Defesa Civil.

A partir destes resultados, como direcionamentos futuros, apontamos o potencial uso desse estudo para planejamento estratégico e zoneamento de infraestrutura de drenagem e manejo de águas pluviais no município. Os trechos delimitados podem servir de base para definição de ações de planejamento urbano que visem mitigar o impacto da drenagem superficial sobre a infraestrutura da malha viária. Conforme discutido anteriormente, em Santarém-PA, a drenagem superficial de águas pluviais ocorre tanto nas vias asfaltadas, que no geral são desprovidas de sistemas de galerias, quanto nas ruas sem pavimentação, onde predominam forte erosão e muitos buracos, tornando essas vias intrafegáveis durante o inverno amazônico.

## REFERÊNCIAS

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrology Science Bulletin*, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

BURROUGH, P. A. MCDONNELL, R. A. *Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems)*, Oxford University Press: USA, 1998.

CARVALHO, S. N. *Estatuto da cidade: aspectos políticos e técnicos do Plano Diretor*. São Paulo Perspec, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 130-135, 2001.

DE SOUZA, V. G. B. *Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade*. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 1, n. 1, p. 58-72, 2013.

FARINA, Flávia C. *Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana*. *Cad. EBAPE.BR*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 4, p. 1-13, 2006.

HUNG, M. N. W. B., MARANGON, F. H. S., SANTOS, I. *Comparação entre o Índice Topográfico e o Tasseled Cap Wetness na estimativa da umidade do solo na bacia hidrográfica do Rio Corredeiras – SC*. In: PEREZ FILHO, A, AMORIM, R, R. (Org.). *Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. 1ª ed. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, v. 1, p. 442-453, 2017.

IBGE/Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979. Disponível em: <<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

IBGE Cidades. Dados do município de Santarém-PA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem/panorama>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

MATTIVI, P., FRANCI, F., LAMBERTINI, A., BITELLI, G. TWI computation: a comparison of different open source GISs. Open geospatial data, softw. stand. v. 4, n. 6, 2019.

MDR-Ministério do Desenvolvimento Regional. S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades, IPT, 2007. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

OSM-Openstreetmap. Página do Projeto OpenStreetMap. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

PINHEIRO, J. I. D., CARVAJAL, S. R. R., CUNHA, S. B., GOMES, G. C. Probabilidade e Estatística. São Paulo: CAMPUS. 2012. p. 90. 568 páginas.

SANTOS, R. M. P. P., SAIS, A. C., LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Caracterização morfométrica das microbacias hidrográficas de abastecimento hídrico de Bebedouro (SP). Revista ciência, tecnologia & ambiente (online), v. 7, n. 1, p. 20-27, 2018.

SILVA, G. A. B., DAVID, P. L. D., BIANCHI, G. A utilização do SIG para o planejamento urbano. Revista Científica ANAP Brasil, v. 10, n. 21, p. 79-89, 2017.

SOERENSEN, R., ZINKO, U., SEIBERT, J. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. Hydrology and Earth System Sciences, v. 10, n. 1, p. 101–112, 2006.

SOUZA, M. L.; RODRIGUES, G. B., Planejamento urbano e ativismos sociais. São Paulo: Editora UNESP, 2004.