

Natural x projetado: a realidade dos sistemas de drenagem da cidade de Vitória da Conquista

Natural vs. Engineered: the reality of the drainage systems in the city of Vitória da Conquista

Natural vs. Ingenierizado: la realidad de los sistemas de drenaje en la ciudad de Vitória da Conquista

DOI: 10.55905/oelv23n6-115

Receipt of originals: 5/16/2025

Acceptance for publication: 6/6/2025

Leonardo Alves Almeida Santos

Mestrando em Geografia

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)

Endereço: Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

E-mail: leonardoalvesengenharia@gmail.com

Manoel Braz Souza de Carvalho

Mestrando em Geografia

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)

Endereço: Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

E-mail: manoel_cba10@hotmail.com

Espedito Maia Lima

Doutor em Geografia

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)

Endereço: Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

E-mail: espedito.maia@uesb.edu.br

RESUMO

A expansão urbana desordenada de Vitória da Conquista (BA) tem intensificado os problemas relacionados à drenagem urbana, resultando em alagamentos, erosões e prejuízos à infraestrutura. Este artigo tem como objetivo analisar comparativamente os sistemas de drenagem natural e projetado, contrapondo com os problemas decorrente de drenagem urbana da cidade, com base nos princípios da geografia física e da engenharia. A pesquisa fundamenta-se em levantamento bibliográfico, análise de parâmetros morfométricos, identificação de bacias urbanas, cálculos de vazão pelo método racional e comparação entre cenários de pré e pós-urbanização. Os resultados indicam que os projetos de drenagem convencionais frequentemente ignoram as dinâmicas geossistêmicas e o adensamento futuro do entorno, comprometendo sua eficácia. O estudo propõe a adoção de estratégias baseadas na natureza como alternativa para o

controle hidrológico urbano, com destaque para a infiltração, retenção e uso de infraestrutura verde. As conclusões ressaltam a importância de integrar conhecimento técnico e abordagem sistêmica para o planejamento da drenagem urbana, principalmente em cidades médias brasileiras.

Palavras-chave: Drenagem Urbana, Escoamento Superficial, Geossistema, Infraestrutura Verde, Vitória da Conquista.

ABSTRACT

The disorderly urban expansion of Vitória da Conquista (BA) has intensified problems related to urban drainage, resulting in flooding, erosion and damage to infrastructure. This article aims to comparatively analyze the natural and designed drainage systems, contrasting them with the problems resulting from urban drainage in the city, based on the principles of physical geography and engineering. The research is based on a bibliographic survey, analysis of morphometric parameters, identification of urban basins, flow calculations using the rational method and comparison between pre- and post-urbanization scenarios. The results indicate that conventional drainage projects often ignore geosystemic dynamics and future densification of the surrounding area, compromising their effectiveness. The study proposes the adoption of nature-based strategies as an alternative for urban hydrological control, with emphasis on infiltration, retention and use of green infrastructure. The conclusions highlight the importance of integrating technical knowledge and a systemic approach for urban drainage planning, especially in medium-sized Brazilian cities.

Keywords: Urban Drainage, Surface Runoff, Geosystem, Green Infrastructure, Vitória da Conquista.

RESUMEN

La expansión urbana desordenada de Vitória da Conquista (BA) ha intensificado los problemas relacionados con el drenaje urbano, provocando inundaciones, erosión y daños a la infraestructura. Este artículo busca analizar comparativamente los sistemas de drenaje natural y diseñado, contrastándolos con los problemas derivados del drenaje urbano en la ciudad, basándose en los principios de la geografía física y la ingeniería. La investigación se basa en una revisión bibliográfica, el análisis de parámetros morfométricos, la identificación de cuencas urbanas, el cálculo de caudales mediante el método racional y la comparación entre escenarios pre y posturbanización. Los resultados indican que los proyectos de drenaje convencionales a menudo ignoran la dinámica geosistémica y la futura densificación del área circundante, lo que compromete su efectividad. El estudio propone la adopción de estrategias basadas en la naturaleza como alternativa para el control hidrológico urbano, con énfasis en la infiltración, la retención y el uso de la infraestructura verde. Las conclusiones destacan la importancia de integrar el conocimiento técnico y un enfoque sistémico para la planificación del drenaje urbano, especialmente en las ciudades medianas brasileñas.

Palabras clave: Drenaje Urbano, Escorrentía Superficial, Geossistema, Infraestructura

Verde, Vitória da Conquista.

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Vitória da Conquista, situada no Sudoeste do estado da Bahia, constitui-se como um dos principais polos urbanos do interior nordestino. Com uma população estimada 394.024 habitantes, segundo dados do IBGE (2024), o município vem enfrentando um crescimento urbano expressivo, marcado pela verticalização progressiva, pela expansão da malha viária e pela ocupação irregular de áreas ambientalmente sensíveis. Tal processo tem imposto desafios significativos à gestão urbana, especialmente no que diz respeito à infraestrutura de drenagem pluvial e ao controle de enchentes e alagamentos em áreas densamente ocupadas.

Nesse contexto, os sistemas de drenagem projetados, embora tecnicamente dimensionados com base em normativas, muitas vezes não são capazes de responder à realidade da bacia urbana, especialmente por ignorarem as mudanças estruturais da malha urbana ao longo do tempo. A drenagem convencional, centrada na rápida evacuação das águas, desconsidera os princípios de retenção, infiltração e amortecimento hidrológico, que são fundamentais sob a ótica da geografia física e da sustentabilidade ambiental.

Neste sentido, este artigo propõe uma análise comparativa entre o sistema de drenagem natural e o sistema projetado, utilizando uma sub-bacia na área urbana de cidade de Vitória da Conquista/Ba. A comparação foi feita com base em dados hidrológicos reais, parâmetros morfométricos, coeficientes de escoamento e cálculos de vazão obtidos através do método.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a eficácia do sistema de drenagem projetado em comparação com o sistema natural, por meio de simulações hidrológicas em uma sub-bacia. A proposta consiste em confrontar os aspectos do modelo de drenagem planejado para Vitória da Conquista com os problemas decorrentes de eventos extremos, investigando as respostas hidrológicas do meio natural em relação às respostas promovidas pelas intervenções antrópicas.

A justificativa do estudo está ancorada na necessidade de ampliar o debate sobre o papel da drenagem urbana no contexto das cidades médias brasileiras. Com o agravamento das mudanças climáticas e a intensificação dos eventos extremos, torna-se cada vez mais urgente pensar soluções sustentáveis, resilientes e integradas ao meio físico. Vitória da Conquista apresenta-se como um caso representativo deste cenário, por combinar características ambientais relevantes com fragilidades no planejamento e na infraestrutura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A GEOGRAFIA FÍSICA E A ENGENHARIA URBANA

Os elementos físicos do território, como relevo, clima, solo, vegetação e hidrografia, influenciam no comportamento da água no espaço e no tempo. Em áreas urbanas, a interação entre esses fatores torna-se ainda mais crítica, pois o processo de impermeabilização altera significativamente o regime de escoamento superficial. A infiltração, que ocorre de forma natural em áreas vegetadas e com solos permeáveis, é reduzida drasticamente quando substituída por superfícies pavimentadas. Isso resulta em aumento da vazão, da velocidade do escoamento e da frequência de eventos de inundação (Tucci, 2009).

O relevo é um dos principais condicionantes da direção e da intensidade do escoamento superficial. Bacias hidrográficas localizadas em áreas com declividades acentuadas tendem a concentrar rapidamente o fluxo da água, aumentando o risco de enchentes em áreas a jusante. Já em terrenos planos, o escoamento tende a ser mais lento, favorecendo a infiltração, desde que o solo não esteja compactado ou impermeabilizado. Em Vitória da Conquista, a predominância de relevo suavemente ondulado, combinado com a expansão urbana horizontal e desordenada, favoreceu a ocorrência de escoamento concentrado e aumento de cargas hidráulicas em canais pluviais.

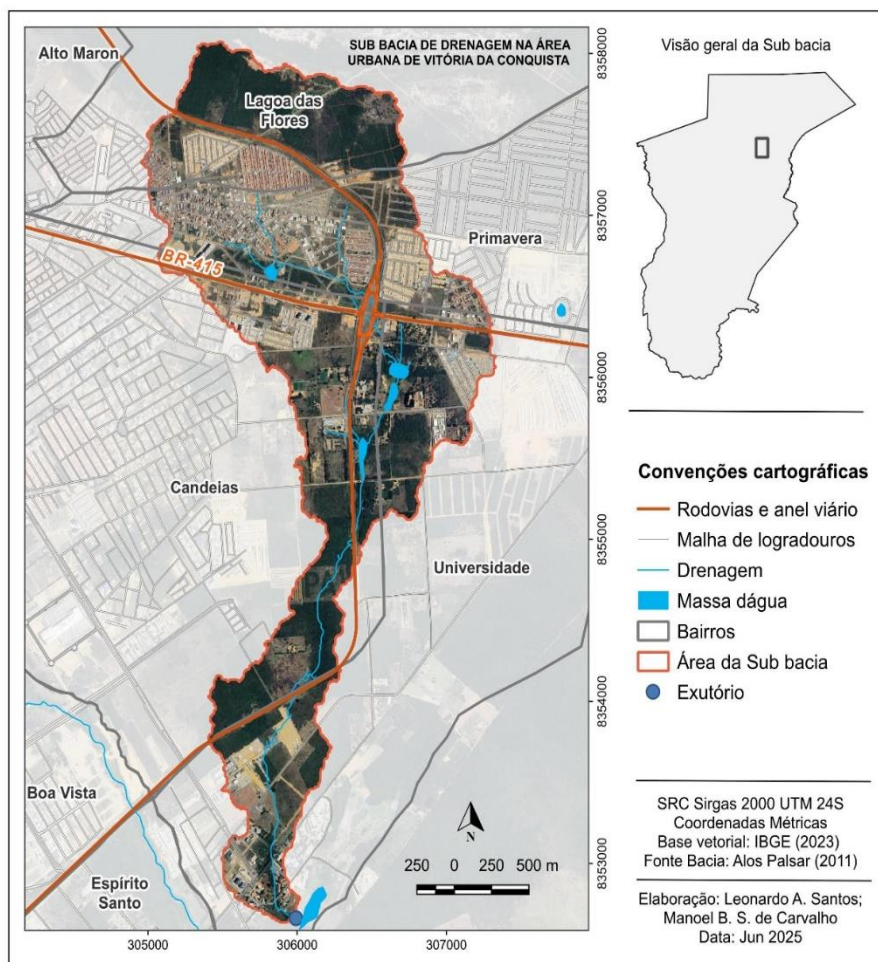
A cobertura vegetal, especialmente nas áreas de topo e encostas, atua como importante reguladora do ciclo hidrológico. A vegetação contribui para a interceptação



da água da chuva, aumento da evapotranspiração e incremento da rugosidade superficial, fatores que reduzem a velocidade do escoamento e aumentam o tempo de concentração. A substituição da vegetação nativa por superfícies impermeáveis, como asfaltos e edificações, elimina esses mecanismos naturais de regulação e intensifica os processos erosivos e sedimentares, provocando o assoreamento de canais e a degradação da qualidade da água (Christofidis *et al.*, 2019).

Um exemplo dessa alteração hidrológica é observado na nascente localizada no bairro Universidade, conforme figura 1. Ao considerar a topografia da área, verifica-se que esse curso d'água originalmente compunha um dos afluentes do Rio Verruga. Contudo, as obras de construção do anel rodoviário provocaram a interrupção de seu curso natural. É possível observar na imagem planialtimétrica que após a travessia da rodovia, a drenagem possuía seu percurso, atravessando o bairro Candeias, passando pelas imediações da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e, finalmente, desaguando no Rio Verruga.

Figura 1. Interferência do Anel Rodoviário no Fluxo da nascente do Bairro Universidade.



Fonte: Elaborado pelos autores

A hidrografia urbana, por sua vez, refere-se à rede de drenagem natural composta por córregos, nascentes e rios, que originalmente regulavam o fluxo hídrico do território. A canalização desses cursos d'água, sua retificação ou, em alguns casos, seu aterramento, implicam na desconexão dos sistemas naturais de escoamento, que em muitas vezes é objeto de descarte de resíduos sólidos derivados das edificações. Em Vitória da Conquista, diversos trechos do Rio Verruga e seus afluentes foram encobertos ou parcialmente suprimidos, reduzindo a capacidade de amortecimento das cheias e agravando os problemas de alagamento e inundações em áreas com urbanização consolidada.

A engenharia de drenagem urbana é a área da engenharia civil dedicada ao

planejamento, dimensionamento e manutenção de sistemas que permitam o escoamento eficiente e seguro das águas pluviais em ambientes urbanizados. Esses sistemas são essenciais para reduzir os riscos de alagamentos, erosões e degradação ambiental provocada pelo excesso de escoamento superficial, especialmente em áreas de alta densidade urbana. O projeto de drenagem baseia-se em fundamentos hidrológicos e hidráulicos em articulação com parâmetros como precipitação, área de contribuição, tipo de solo, cobertura do solo, rugosidade, tempo de concentração e coeficientes de escoamento (Tucci, 2009). Um dos métodos mais utilizados para o dimensionamento de vazões em áreas urbanas é o método racional, que aplica a seguinte fórmula:

$$Q = C \times I \times A \quad (1)$$

sendo:

Q = vazão de pico (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I = intensidade da chuva (mm/h);

A = área da bacia (ha).

O coeficiente de escoamento **C** representa a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial. Em áreas naturais com vegetação densa e solos permeáveis, **C** varia entre 0,05 e 0,3. Já em zonas urbanas com alta impermeabilização, esse valor pode chegar a 0,9, especialmente em áreas centrais, onde há predominância de asfalto e concreto (Canholi, 2014). O uso de valores inadequados para **C** pode superestimar ou subdimensionar a vazão de projeto, comprometendo a funcionalidade do sistema.

O parâmetro **I** é determinado com base em séries históricas de precipitação e está relacionado ao tempo de retorno (TR) do evento extremo considerado no projeto. No Brasil, a determinação de **I** é feita a partir das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), obtidas por meio de equações ajustadas às séries pluviométricas locais. Em Vitória da Conquista, as chuvas mais intensas ocorrem entre novembro e março, e os projetos



geralmente adotam TR de 5 a 25 anos, dependendo da importância da infraestrutura (INMET, 2023).

Outro conceito fundamental é o tempo de concentração (T_c), definido como o tempo necessário para que a gota de chuva mais distante da bacia alcance o ponto de exutório. O T_c é influenciado pela topografia, rugosidade, tipo de solo e comprimento do percurso do fluxo. Valores reduzidos de T_c indicam resposta rápida da bacia à precipitação, o que significa que a vazão de pico será alcançada em pouco tempo. Em áreas urbanizadas, o T_c tende a ser reduzido devido à eliminação de obstáculos naturais, compactação do solo e construção de redes de microdrenagem (Motta, 2012).

Com base nesses parâmetros, é que se realiza o dimensionamento do sistema das galerias pluviais, canais, sarjetas e bueiros. A escolha dos materiais, o diâmetro das tubulações, as cotas de fundo e a declividade das redes são definidas por meio de cálculos hidráulicos, levando em conta a continuidade do fluxo, a energia disponível e as perdas por atrito. Além disso, as normas técnicas brasileiras, como a NBR 9793, NBR 1226, NBR 17015 e NBR 8890, orientam os critérios mínimos de dimensionamento, manutenção e inspeção dessas infraestruturas.

No entanto, a aplicação isolada de modelos matemáticos e tabelas de dimensionamento, sem uma análise integrada do território, pode conduzir a soluções tecnicamente corretas, mas social e ambientalmente ineficazes. Em muitos casos, o subdimensionamento das redes ocorre porque os projetos consideram apenas a situação atual da bacia, sem prever sua evolução futura com o avanço da urbanização. Isso resulta em sistemas que rapidamente se tornam obsoletos ou ineficazes (Tucci, 2009; Canholi, 2014).

Em Vitória da Conquista, a maioria dos sistemas de drenagem existentes foi dimensionada com base em critérios tradicionais, desconsiderando o adensamento posterior das áreas ao redor. Isso tem resultado em alagamentos recorrentes mesmo em pontos onde existem galerias pluviais, como observado nas avenidas Luís Eduardo Magalhães, Bartolomeu de Gusmão, Juracy Magalhães Frei Benjamin e entre outras, consideradas como importantes eixos viários da cidade. A falta de atualização periódica dos projetos e a ausência de um plano do sistema de drenagem são fatores que agravam

o problema. Portanto, o dimensionamento de sistemas de drenagem deve considerar não apenas os parâmetros técnicos tradicionais, mas também as transformações do espaço e os princípios da sustentabilidade.

2.2 A DRENAGEM CONVENCIONAL NO BRASIL E AS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E INFRAESTRUTURA VERDE

O modelo convencional de drenagem urbana, predominante no Brasil desde meados do século XX, baseia-se no paradigma higienista de controle das águas urbanas, com foco na coleta, transporte rápido e descarte das águas pluviais. Tal abordagem considera a água da chuva como um “problema” a ser removido do ambiente urbano com a maior eficiência possível, o que levou à predominância de soluções como canalizações, galerias subterrâneas, bueiros e sarjetas dimensionadas apenas para eventos de curto tempo de retorno (Canholi, 2014).

Essa lógica, embora tecnicamente funcional em curto prazo, desconsidera as consequências ambientais e sociais que ela produz. Ao priorizar a rapidez da evacuação da água, o sistema convencional ignora os benefícios do escoamento difuso, da infiltração e da retenção natural. Além disso, promove a transferência dos problemas hidrológicos para áreas a jusante, sobrecarregando rios, córregos e vales urbanos que muitas vezes já estão comprometidos pelo processo de urbanização (Tucci, 2009).

A crítica central ao modelo tradicional está na sua fragmentação: os projetos são elaborados com foco exclusivamente técnico, sem integração com o planejamento urbano, a gestão ambiental ou as políticas de uso e ocupação do solo. Em muitas cidades, o sistema viário e o sistema de drenagem são tratados de forma isolada, o que gera situações como bueiros instalados em locais inadequados, ausência de áreas de retenção e alagamentos recorrentes mesmo em obras recém-construídas (Christofidis *et al.*, 2019).

Em Vitória da Conquista, esse modelo se manifesta de forma clara: boa parte da infraestrutura existente foi construída sem previsão de adensamento futuro e sem considerar as particularidades físicas das sub-bacias urbanas. Como consequência, observa-se a recorrência de alagamentos em pontos críticos, como na Avenida

Bartolomeu de Gusmão e Ascendino Melo, mesmo após sucessivas intervenções. Esses episódios revelam a falência de um modelo que desconsidera a paisagem como elemento ativo da dinâmica urbana.

Outro aspecto importante da crítica à drenagem convencional é seu custo ambiental. A canalização de cursos d'água elimina a biodiversidade associada aos ambientes ripários, aumenta a velocidade do fluxo e potencializa os processos erosivos. Além disso, o tamponamento de nascentes e a ocupação de áreas de preservação permanente (APPs) transformam a paisagem urbana e dificultam a regeneração ecológica (Ross, 2006).

Portanto, a superação do modelo tradicional de drenagem exige uma mudança profunda no modo de pensar e planejar as cidades. É necessário integrar conhecimentos técnicos, geográficos e ambientais para construir soluções que dialoguem com a paisagem e promovam o equilíbrio entre urbanização e natureza. A drenagem urbana não pode ser tratada como um sistema isolado, mas como parte de uma rede complexa de fluxos e relações que constituem o espaço urbano.

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) representam uma abordagem inovadora e resiliente no enfrentamento dos desafios urbanos contemporâneos, especialmente os relacionados à drenagem urbana e ao manejo sustentável das águas pluviais. Trata-se de estratégias que utilizam ou imitam os processos naturais para promover benefícios múltiplos ao meio ambiente, à sociedade e à economia, reforçando a resiliência urbana diante das mudanças climáticas. No contexto da drenagem urbana, as SbN visam restabelecer ou conservar a capacidade de infiltração, retenção e evapotranspiração da paisagem urbana, reduzindo a pressão sobre os sistemas convencionais de escoamento (IUCN, 2020).

Entre os principais dispositivos que compõem a infraestrutura verde estão os jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, bacias de retenção e detenção, biovaletas e zonas de amortecimento vegetadas. Essas soluções atuam promovendo a retenção temporária da água da chuva, a redução da velocidade do escoamento, a recarga dos aquíferos e a melhoria da qualidade da água, ao

mesmo tempo em que contribuem com a arborização urbana, a amenização térmica e a valorização paisagística.

Em Vitória da Conquista, a adoção de infraestrutura verde ainda é incipiente. O município carece de um plano diretor de drenagem que incorpore diretrizes para a preservação de áreas de recarga, recuperação de fundos de vale e aplicação de técnicas alternativas à canalização rígida. O modelo predominante continua baseado em obras de engenharia pesada, centradas na captação e transporte rápido da água, o que agrava os impactos a jusante e ignora o potencial de retenção do próprio ambiente (Freitas; Oliveira, 2020).

A implementação de SbN exige não apenas mudanças técnicas, mas também institucionais e culturais, com envolvimento de múltiplos atores: engenheiros, geógrafos, urbanistas, gestores públicos e comunidades locais. Portanto, repensar a drenagem urbana com base em soluções baseadas na natureza não é apenas uma alternativa técnica, mas uma mudança de paradigma. É necessário sair do modelo centrado na impermeabilização e canalização para um modelo de convivência com a água, em que a paisagem urbana seja moldada de forma a absorver, infiltrar e reutilizar esse recurso vital.

3 METODOLOGIA

A escolha de Vitória da Conquista como área de estudo justifica-se por dois fatores principais: (i) a recorrência de eventos de alagamento e enxurradas, registrados em áreas como as avenidas Bartolomeu de Gusmão, Luís Eduardo Magalhães, São Geraldo, Juracy Magalhães e entre outras; e (ii) a inexistência de um plano municipal integrado de drenagem urbana, o que dificulta a mitigação dos impactos decorrentes da impermeabilização do solo e da ocupação desordenada de fundos de vale.

Do ponto de vista físico-natural, a cidade está inserida no domínio do Planalto de Vitória da Conquista, com predominância de terrenos levemente ondulados, solos argilosos e clima do tipo tropical de altitude, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. Essas condições favorecem a formação de enxurradas durante eventos intensos de precipitação, especialmente nos meses de novembro a março.

As áreas de estudo foram delimitadas a partir da bacia do Rio Verruga, principal curso d'água urbano da cidade. Foi selecionada uma sub-bacia urbana representativas, fazendo a projeção com características distintas de urbanização: uma ainda com cobertura vegetal parcial e outra completamente impermeabilizada. Essa comparação possibilita observar, de forma clara, as diferenças de comportamento hidrológico entre cenários natural e projetado.

Os parâmetros morfométricos das bacias (área, perímetro, comprimento do curso d'água principal, declividade média, densidade de drenagem, entre outros) foram calculados com o auxílio da extensão *Terrain Analysis* do QGIS, em conjunto com planilhas desenvolvidas em Excel para inserção dos dados no método racional. A metodologia adotada neste estudo tem natureza exploratória e comparativa, com abordagem qualitativa e quantitativa, estruturada em cinco etapas principais: (i) levantamento bibliográfico e normativo; (ii) delimitação das bacias urbanas selecionadas; (iii) análise morfométrica e cálculo hidrológico pelo método racional; (iv) comparação entre cenários natural e projetado; e (v) construção de recomendações técnicas fundamentadas nos princípios da engenharia e da geografia física.

O método racional foi empregado para a estimativa das vazões máximas instantâneas nas bacias urbanas selecionadas. Este método é amplamente utilizado no dimensionamento de obras de micro e macrodrenagem urbana por sua simplicidade e aplicabilidade direta em áreas urbanizadas. A fórmula utilizada é: $Q = C \times I \times A$ (Tucci, 2009).

Para a determinação da intensidade da chuva (**I**), foi adotada a equação da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) ajustada para a cidade de Vitória da Conquista, com parâmetros regionais obtidos do software Pluvio 2.1. Foram utilizados tempos de retorno (TR) de 25 anos, uma vez que para o dimensionamento de obras de microdrenagem urbana, recomenda-se a adoção de tempos de retorno entre 2 e 10 anos, enquanto para sistemas de drenagem de avenidas principais e galerias de grande porte, são indicados tempos de retorno de 10 a 25 anos, conforme orientações técnicas de Tucci (2009) e Canholi (2014).

A fórmula para definição da intensidade, é:



$$i = k TR^a(t+b)^c \quad (2)$$

onde,

I - Intensidade média da precipitação intensa(mm/h)

T - Duração da precipitação(min)

TR - Período de retorno (Anos ou %)

K, a, b, c- Constantes de ajustes locais

A fórmula supracitada é uma variação da fórmula tradicional IDF (Intensidade × Duração × Frequência), sendo a mais adequada para estudos de drenagem no Brasil, principalmente quando se quer considerar a influência explícita do Tempo de Retorno (TR) de forma mais destacada, ou quando se quer ajustar a curva para ser mais sensível a chuvas de eventos extremos (TR mais altos).

O tempo de concentração (Tc) foi estimado com base na equação empírica de Kirpich, ajustada para áreas urbanas:

$$Tc = 0,0195 \times L^{0,77} / S^{0,385} \quad (3)$$

em que:

L é o comprimento do curso d'água principal (m);

S é a declividade média (m/m).

O coeficiente de escoamento (C) foi determinado a partir da análise do grau de impermeabilização das sub-bacias estudadas. Para a bacia urbanizada, foram utilizados valores entre 0,80 e 0,90, considerando pavimentação contínua, cobertura de edificações e ausência de áreas permeáveis. Para o cenário natural (com vegetação remanescente), os valores variaram entre 0,30 e 0,45 (Tucci, 2009; Canholi, 2014).

Os dados foram inseridos em planilhas de cálculo em Excel para estimativa das vazões em diferentes condições. Posteriormente, os resultados foram confrontados com registros históricos de alagamentos e extrapolados para projeções futuras de urbanização.

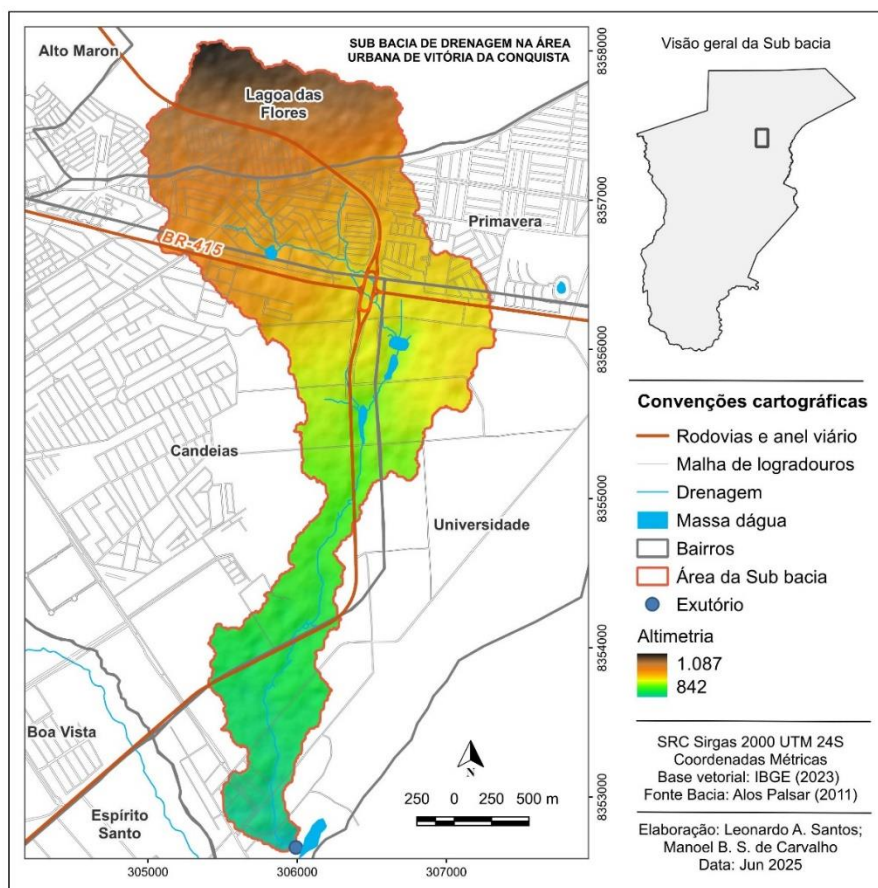
A partir desses resultados, buscou-se construir um diagnóstico crítico da efetividade da drenagem projetada frente às condições reais de uso e ocupação do solo.

Além dos cálculos hidrológicos, a metodologia incluiu a aplicação de princípios da abordagem geossistêmica, reconhecendo que os elementos da paisagem não atuam isoladamente. Foram analisadas as transformações da paisagem ao longo do tempo com auxílio de imagens históricas de satélite (INDE), mapas antigos do município e registros da imprensa local sobre eventos de cheias. Essa análise histórica permitiu identificar padrões recorrentes de alagamento e falhas sistemáticas nas intervenções de engenharia, reforçando a hipótese da insuficiência do modelo convencional de drenagem.

4 SIMULAÇÕES COMPARATIVAS E CASOS DE APOIO

A etapa de simulação comparativa teve como objetivo principal avaliar a diferença de comportamento hidrológico entre dois cenários contrastantes: um com predominância de cobertura vegetal e outro com alto grau de impermeabilização. Para isso, foi selecionada uma sub-bacia genérica dentro da bacia do Rio Verruga, em que a área ainda não possui adensamento completo. Essa bacia foi calculada sob duas perspectivas, uma considerando o adensamento do local (“Bacia Urbanizada”), e outra considerando a real situação, (“Bacia Natural”) (figura 2).

Figura 2. Sub-bacia utilizada para estudo



Fonte: IBGE (2023); Alos Palsar (2011). Elaborado pelos autores

A bacia possui 519 hectares, com tempo de infiltração encontrado de 76,65 minutos, conforme equação de Kirpich. Atualmente encontra-se em adensamento inicial, apesar de já ter sofrido interferência do processo de urbanização, com cobertura majoritária de vegetação arbustiva e solo exposto apenas em áreas de estrada vicinal. Para Bacia Natural, o valor do coeficiente de escoamento adotado foi de $C = 0,35$, considerando a infiltração natural e a cobertura vegetal. Já a segunda bacia, denominada de Bacia Urbanizada, ao considerar uma projeção futura com 85% de impermeabilização, sendo adotado o coeficiente de $C = 0,85$.

Conforme os cálculos abaixo, foi utilizada uma intensidade de chuva correspondente a $I = 70,96 \text{ mm/h}$ para um evento com tempo de retorno de 25 anos. A aplicação do método racional forneceu os seguintes resultados:



Inicialmente, considerando

$$i=k \times TR^a \times (t+b)^c \quad (4)$$

onde:

- $k = 2862,118$
- $a = 0,205$
- $b = 34,443$
- $c = 0,958$
- $TR = 25$ anos (tempo de retorno),
- $t = 60$ minutos

Substituindo:

$$i=2862,118 \times (25)^{0,205} \times (60+34,443)^{-0,958} \quad (5)$$

$i= 70,96$ mm/h

- Bacia Natural:

$$Q = 0,35 \times 70,96 \times 519 = 12.878 \text{ L/s} = 46.360,8 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{12,88 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- Bacia Urbanizada:

$$Q = 0,85 \times 70,96 \times 519 = 31.296,72 \text{ L/s} = 112.668,2 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{31,30 \text{ m}^3/\text{s}}$$

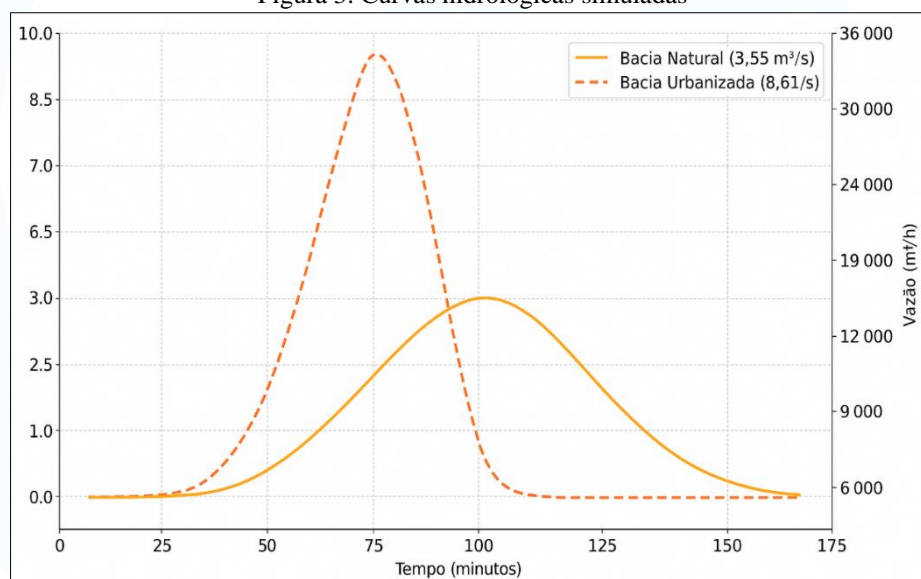
A comparação mostra que a vazão de pico na bacia urbanizada é quase três vezes maior que na bacia natural. Isso evidencia o impacto direto da impermeabilização no aumento da vazão de escoamento superficial, sobrecarregando a rede de microdrenagem e reduzindo a capacidade de retenção do solo. Além disso, a urbanização reduz o tempo de concentração efetivo, o que resulta em picos de vazão mais precoces e intensos.

As simulações demonstram ainda que os sistemas projetados com base apenas na condição atual da bacia falham ao não considerar a urbanização futura e as alterações no comportamento da paisagem, prova disso, são os pontos de alagamentos constantes, dentro da área urbana da cidade, e com existência do sistema de drenagem projetado. Em contrapartida, áreas com maior cobertura vegetal tendem a apresentar escoamento mais

difuso, menor energia hidráulica e menor impacto erosivo. Essa constatação reforça a importância de conservar as áreas de várzea, fundos de vale e zonas de infiltração nas zonas de expansão urbana.

Além da comparação numérica, foram geradas curvas de resposta hidrológica das bacias simuladas, por meio de gráficos de tempo x vazão. Esses gráficos revelam que, enquanto a bacia natural apresenta uma curva suave e com pico amortecido, a bacia urbanizada exibe uma elevação abrupta da vazão, seguida de uma queda igualmente rápida. Esse padrão é característico de áreas urbanas mal drenadas, com tempo de resposta extremamente curto e risco elevado de alagamentos localizados.

Figura 3. Curvas hidrológicas simuladas



Fonte: Santos (2025)

Observa-se que a bacia natural apresenta um tempo de resposta maior, com escoamento mais lento e vazão de pico reduzida ($12,88 \text{ m}^3/\text{s}$), em decorrência da maior capacidade de infiltração e interceptação da cobertura vegetal. Em contraste, a bacia urbanizada apresenta resposta hidrológica acelerada, com um pico de vazão mais elevado ($31,3 \text{ m}^3/\text{s}$) e redução do tempo de concentração, reflexo da impermeabilização do solo e da canalização do escoamento superficial. Este comportamento caracteriza o

agravamento dos riscos de alagamentos urbanos, a sobrecarga dos sistemas de drenagem projetados e a necessidade de soluções baseadas na natureza para mitigar os impactos.

Portanto, a simulação comparativa confirma empiricamente a hipótese deste estudo: os sistemas projetados, quando não articulados a uma leitura geossistêmica do ambiente urbano, tornam-se insuficientes frente às dinâmicas hidrológicas impostas pela urbanização. Para ratificar tais dados, faz-se necessário utilização de casos de apoio em que se é possível comprovar os dados.

4.1 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS NATURAL X PROJETADO

A comparação entre os cenários natural e projetado revelou diferenças expressivas quanto à vazão de pico gerada durante eventos de precipitação intensa. Como demonstrado nas simulações descritas anteriormente, a bacia urbanizada apresentou vazões superiores a $31,3\text{m}^3/\text{s}$, enquanto a bacia natural, gerou vazão próxima de $12,88\text{m}^3/\text{s}$, evidenciando um aumento de 41% no volume escoado superficialmente.

Observou-se também a diferença na curva de resposta hidrológica entre os dois tipos de bacia. A bacia natural apresenta uma resposta mais gradual, com menor declividade da curva e tempo de resposta mais longo, o que favorece a infiltração e reduz o risco de enxurradas. Já a bacia urbanizada mostra um comportamento de resposta rápida, com ascensão abrupta da vazão, pico concentrado e escoamento superficial com maior energia erosiva. Essa diferença tem implicações diretas sobre o dimensionamento das redes de microdrenagem e a necessidade de dispositivos de controle de vazão a montante.

A análise confirma que os projetos de drenagem convencionais, quando baseados apenas em dados estáticos e na situação atual da ocupação do solo, tornam-se rapidamente insuficientes diante da evolução urbana. Dada a estimativa de um contínuo crescimento populacional de Vitória da Conquista/Ba, projeta-se um agravamento das condições hidrológicas caso não haja adequações nas diretrizes de drenagem.

A Avenida Bartolomeu de Gusmão é atualmente o principal ponto crítico de alagamento em Vitória da Conquista. A via cruza parte da bacia urbana do Rio Verruga,

cortando áreas com alto grau de urbanização, ocupação irregular e ausência de vegetação. Registros da Defesa Civil e da imprensa local indicam a ocorrência de inundações recorrentes ao longo da última década, com destaque para os episódios de 2013, 2019 e 2022, que causaram danos estruturais, prejuízos econômicos e riscos à integridade física da população. O curso d'água que cruza essa região foi parcialmente canalizado e recoberto por vias e edificações, reduzindo drasticamente sua seção de escoamento e eliminando a faixa de várzea natural. A ocupação desordenada comprometeu a capacidade de amortecimento da bacia, transformando eventos pluviométricos moderados em episódios críticos.

Outro problema recorrente é o subdimensionamento das redes pluviais existentes, muitas das quais foram implantadas há mais de 20 anos, quando as áreas urbanas eram significativamente menos adensadas. A rápida urbanização das zonas periféricas, com ocupação de áreas de várzea e encostas, tem pressionado sistemas já saturados. Em muitas áreas, como no bairro Candeias e a zona sul da cidade, observa-se o surgimento de alagamentos em áreas que, até recentemente, não apresentavam histórico de inundação, o que evidencia a mudança do comportamento hidrológico da bacia.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa evidenciou, de maneira clara, as profundas diferenças entre os sistemas de drenagem natural e projetado na cidade de Vitória da Conquista, com base em análises hidrológicas, morfométricas, comparativas e críticas. Os resultados demonstraram que o modelo convencional de drenagem, centrado na rápida evacuação das águas pluviais por meio de obras rígidas e pontuais, mostra-se insuficiente diante da complexidade geossistêmica da cidade e da intensificação do processo de urbanização.

As simulações hidrológicas realizadas indicam que a sub-bacia analisada, por estar localizada em uma área urbana em processo de adensamento, demanda um sistema de drenagem projetado que leve em consideração a urbanização total da bacia. Trata-se de um talvegue natural que, se não for planejado com uma perspectiva de expansão futura, poderá se tornar uma área altamente suscetível a alagamentos e inundações.

A impermeabilização característica dos ambientes urbanos pode triplicar a vazão de pico durante eventos de precipitação intensa, agravando os riscos hidrológicos. Em outras áreas da cidade, a canalização de cursos d'água sem considerar o adensamento total das bacias hidrográficas, a eliminação de áreas de infiltração e a ausência de políticas preventivas têm intensificado a ocorrência de alagamentos. Um exemplo crítico é a bacia da Avenida Bartolomeu de Gusmão, onde há recorrência significativa desses episódios. Outras avenidas importantes também não estão imunes a essas problemáticas, revelando a necessidade urgente de um planejamento urbano e ambiental mais integrado e preventivo.

Além disso, a comparação com experiências de outras cidades brasileiras como Curitiba, Campinas e Fortaleza reforçou que soluções sustentáveis e integradas, como parques lineares, dispositivos de retenção e normativas de permeabilidade mínima, são alternativas viáveis e mais eficazes a médio e longo prazo. Tais experiências mostram que é possível compatibilizar desenvolvimento urbano e equilíbrio hidrológico quando há planejamento técnico, visão sistêmica e vontade política.

Portanto, a drenagem urbana precisa deixar de ser pensada como um sistema apenas técnico e passar a integrar as dimensões ambientais, sociais e territoriais do planejamento urbano. Vitória da Conquista, por suas características geográficas e trajetória de crescimento, exige um novo paradigma de gestão das águas pluviais, com base na integração entre engenharia, geografia e ecologia urbana.

Faz-se necessário a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana Sustentável para Vitória da Conquista baseada em princípios geossistêmico, onde a delimitação de bacias hidrográficas urbanas como unidades operacionais de planejamento, respeitem o comportamento hidrológico real da paisagem. Tais diretrizes devem estar articuladas com os planos de mobilidade, meio ambiente, habitação e uso do solo, garantindo uma política pública efetiva e transversal, com base técnica e foco em longo prazo.

Foi observado que os pontos de maior incidência de alagamentos, são locais com sistemas de drenagem existente. Nesse sentido é possível afirmar que o modelo atual de drenagem urbana na cidade de Vitória da Conquista/Ba, desconsidera completamente os

efeitos da urbanização futura. Os projetos de drenagem, quando realizados, partem de uma fotografia estática da realidade urbana, sem incorporar projeções de adensamento, expansão horizontal ou alterações no uso do solo. Isso inviabiliza a longevidade dos sistemas e exige manutenções e reformas constantes.

Ressalta-se, o Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário (PEMAPES), elaborado em 2010 para a RDS 20, que já mostrava a problemática da drenagem urbana, com detalhamento técnico de dispositivos, áreas críticas e indicadores de fragilidade ambiental. O estudo identificou falhas estruturais nos sistemas de micro e macrodrenagem, ocorrência frequente de alagamentos, presença de esgoto nas galerias pluviais e assoreamento em diversos canais. Nesse sentido, observa-se que as ações efetivas têm sido negligenciadas no planejamento urbano e na execução de políticas públicas. A persistência dos mesmos pontos de alagamento e o agravamento de processos erosivos em bairros já mapeados no relatório evidenciam a lacuna entre o diagnóstico técnico e a ação governamental.

O quadro atual exige uma mudança de paradigma: do modelo reativo, pontual e técnico para um modelo sistêmico, preventivo e sustentável, com base em dados, simulações, geotecnologias e participação social. A drenagem não somente deixar de ser uma consequência e passar a ser um dos eixos centrais do planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9649:1986** – Projeto de sistemas de drenagem urbana. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16416:2015** – Projetos hidráulicos de sistemas de infiltração para áreas urbanas. Rio de Janeiro, 2015.
- BERTRAND, G. **Paysages et géographie physique globale**. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Toulouse, n. 32, p. 167–180, 1971.
- CANHOLI, C. E. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CHRISTOFIDIS, D. *et al.* **Gestão integrada de águas urbanas**. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, 2019.
- FERREIRA, M. J. *et al.* **Geossistemas e planejamento urbano: contribuições da geografia física**. Revista Geografar, Curitiba, v. 16, n. 2, p. 299–320, 2021.
- FREITAS, L. S.; OLIVEIRA, R. S. **Urbanização e vulnerabilidade ambiental em Vitória da Conquista**. In: ENANPEGE – Encontro Nacional da ANPEGE, XIII, 2020, Presidente Prudente. Anais [...]. Presidente Prudente: ANPEGE, 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal e estimativas populacionais 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa – Estação A439 (Vitória da Conquista)**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- IUCN. International Union for Conservation of Nature. **Nature-based Solutions Global Standard**. Gland, Switzerland: IUCN, 2020.
- MOTTA, R. S. **Manual de hidrologia aplicada**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- PREFEITURA DE VITÓRIA DA CONQUISTA. **Plano Diretor Urbano do Município – Versão Revisada**. Vitória da Conquista: Secretaria de Planejamento Urbano, 2022.
- ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 5. ed. São Paulo: EdUSP, 2006.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. São Paulo: Hucitec, 1996.



TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2009.

WORLD BANK. **Implementing Nature-Based Flood Protection: Principles and Case Studies**. Washington: World Bank Group, 2018.