

1014 MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DRENAGEM URBANA COM APLICAÇÃO DE ESTRUTURAS LIDS PARA CONTROLE DE PÓS-OCUPAÇÃO

Djuliana Antonia Ribas ⁽¹⁾

Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UTFPR-PB.

Poliani Alessandra Vartha ⁽²⁾

Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UTFPR-PB.

Francine Miotto ⁽³⁾

Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UTFPR-PB.

Cesar Augusto Medeiros Destro ⁽⁴⁾

Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UTFPR-PB.

Murilo Cesar Lucas ⁽⁵⁾

Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UTFPR-PB.

Endereço⁽¹⁾: Rua Via do Conhecimento, s/n - KM 01 - Fraron, Pato Branco - PR, 85503-390 - Tel: (46) 99931-1907 - e-mail: djulianaribas@hotmail.com

RESUMO

A expansão territorial urbana tem um significado positivo ao desenvolvimento das cidades, mas em contrapartida há uma preocupação decorrente ao aumento considerável das áreas impermeáveis, sendo um fator importante nas mudanças do ciclo hidrológico das águas superficiais. Com o aumento das áreas impermeáveis os sistemas tradicionais de drenagem tornam-se insustentáveis, o que aumenta os desafios sociais e da gestão pública em tornar as cidades mais permeáveis e sustentáveis. Algumas práticas sustentáveis vêm sendo cada vez mais adotadas nas cidades, também conhecidas como *Low Impact Development* (LIDs), que auxiliam no controle do excesso de escoamento superficial. Diante disso, o objetivo desta pesquisa é trabalhar a modelagem computacional utilizando o software SWMM aplicado a um loteamento em estudo no município de Pato Branco-PR. A modelagem do sistema de drenagem urbana foi realizada em cinco cenários de análises, sendo a pré-ocupação, pós-ocupação, pós-ocupação com (pavimentos permeáveis), pós-ocupação com (reservatório de retenção) e pós-ocupação com (pavimentos permeáveis e reservatório de retenção), com o intuito de controlar vazão, velocidade e volume de água no sistema de rede pública de drenagem. A análise de modelagem computacional da pesquisa resultou no controle parcial do escoamento superficial excedente causado na pós-ocupação, bem como, a pesquisa conclui maior desempenho dos sistemas LID de pavimento permeável e reservatório de retenção quando aplicados em conjunto.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem SWMM, Controle pós-ocupação, Drenagem Urbana, LIDs, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização altera os microclimas das cidades, dificultando a integração sustentável entre as pessoas e o meio ambiente. Devido aos resíduos e sedimentos poluentes transportados durante o percurso, o aumento local da capacidade de escoamento superficial direcionado para as fontes de água tem impacto não só na qualidade da água como também no ecossistema aquático e terrestre ao longo do rio, podendo resultar em inundações a jusante e causar mais erosão e assoreamento do recurso hídrico.

Enchentes e alagamentos são problemas enfrentados por diversas cidades em todo o mundo afetando a segurança hídrica dos locais (Batalini et. al, 2021). Durante muito tempo, o problema das inundações urbanas foi tratado sem necessariamente conectar questões de controle de uso do solo, essa visão direcionou soluções de engenharia para transportar rapidamente os crescentes fluxos pós-urbanização, com o objetivo de aumentar a capacidade dos sistemas de drenagem, essa abordagem tem uma premissa intrinsecamente insustentável (MIGUEZ; RESENDE; VERÓL, 2015).

Geralmente os sistemas de drenagem urbana são projetados com base na análise de variáveis hidrológicas históricas. Devido às mudanças climáticas, os padrões de precipitação têm se modificado no decorrer do tempo, evidenciando a necessidade de alternativas sustentáveis nas práticas de gestão de águas pluviais, como Desenvolvidos de Baixo Impacto (LIDs), para responder com sucesso às possíveis condições climáticas futuras e assim atender aos critérios de desempenho (Ghods et. al, 2020).

Com o intuito de aumentar a resiliência dos centros urbanos, as práticas LIDs têm sido usadas com objetivo de mitigação e adaptação nos sistemas de drenagem tradicionais, auxiliando na retenção de escoamento, atenuação de pico de escoamento superficial e restauração de serviços ecossistêmicos (Batalini et. al, 2021).

Para quantificar e caracterizar a funcionalidade de sistemas LID são utilizados modelos computacionais de sistemas de drenagem urbana e um software muito utilizado é o Storm Water Management Model (SWMM). O SWMM é um software usado em todo o mundo, foi desenvolvido para ajudar a apoiar os objetivos locais, estaduais e nacionais de gestão de águas pluviais para reduzir o escoamento através da infiltração e retenção, auxiliando na redução das descargas que causam danos aos corpos d'água (US-EPA, 2022).

METODOLOGIA

A pesquisa em estudo trata-se de um loteamento residencial, com aplicação suposta, localizado no município de Pato Branco, região sudoeste do Paraná, como pode ser observado na Figura 1. O município em questão possui território de 539.087km² de área e população estimada de 84.779 habitantes (IBGE, 2021)

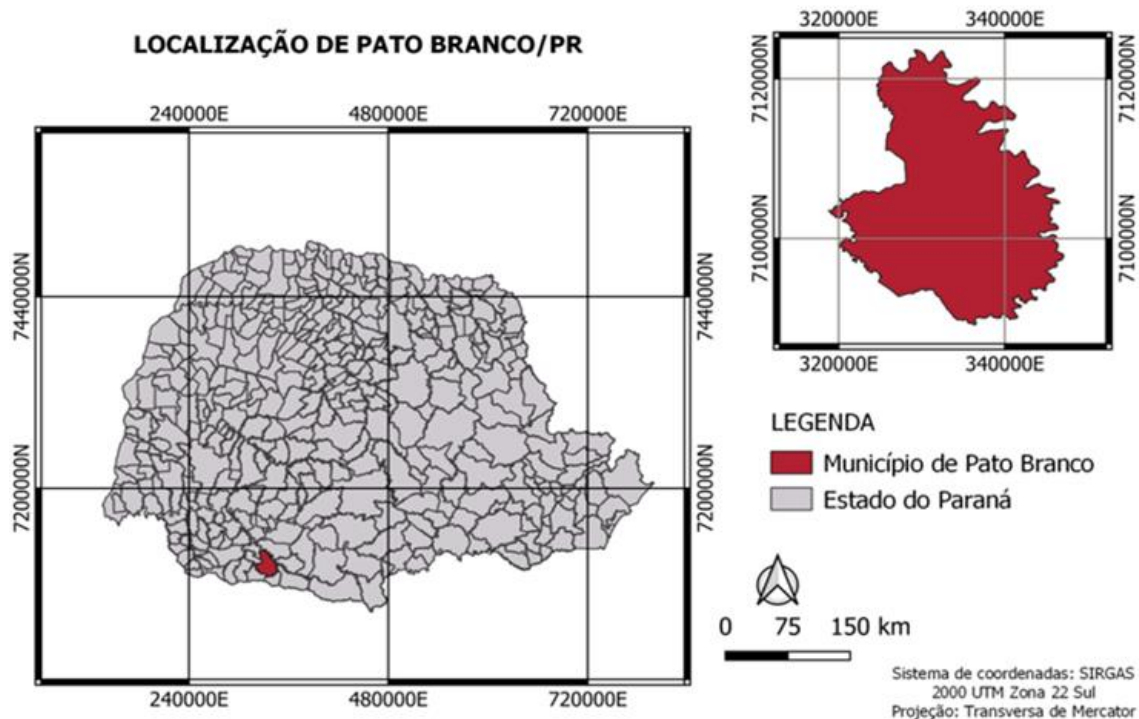


Figura 1: Município de Pato Branco em relação ao Estado do Paraná.

O loteamento utilizado para o estudo possui área de 128.478,80m², sendo dividido conforme Tabela 1:

Tabela 1: Divisão do loteamento

Destinação	Área (m ²)
Lotes	88.249,20
Calçadas públicas	13.955,10
Vias públicas	26.272,50m ²

Esta área foi escolhida por se tratar de um loteamento novo, de pequeno porte e com disponibilidade do projeto da rede pública do sistema de drenagem, como apresentado na Figura 2. Os elementos da rede de drenagem urbana foram denominados de sub-bacias, boca de lobo (BL) e poços de visita vertical (PV), já os ramais de tubulação das galerias foram denominados de condutores (C) e por fim, o exutório denominado (EXT)

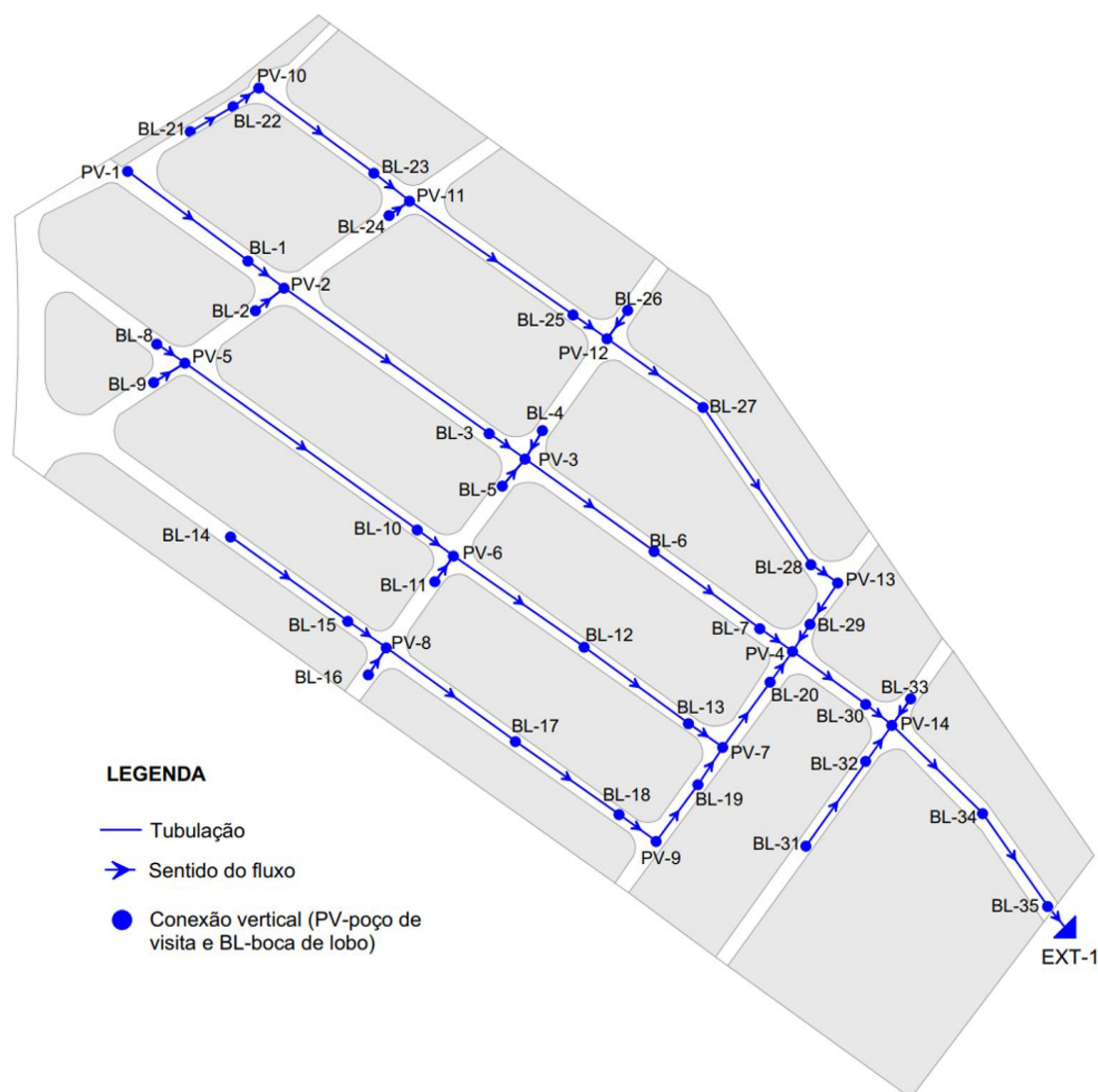


Figura 2: Imagem da rede pública de drenagem.

Para a modelagem computacional, a área do loteamento foi dividida em sub-bacias correspondentes ao total de área superficial contribuinte a cada boca de lobo, a área de cada sub-bacia é composta por uma parcela de lotes, calçadas e vias públicas, o que possibilitou uma análise do comportamento de cada trecho do sistema de drenagem urbano.

O tipo de ocupação do loteamento foi definido como residencial, as taxas de ocupação do solo para o loteamento foram adotadas de acordo com a Ocupação do Solo nas Macrozonas (Prefeitura Município de Pato Branco, 2021). As informações de taxa de permeabilidade do solo foram obtidas com uma média entre as taxas de permeabilidade das Zonas residenciais 1, 2 e 3.

Para a chuva de projeto utilizada no modelo computacional, foi selecionada a chuva do dia 09/06/2020, pois essa chuva provocou vários pontos de alagamento no município, afetando edificações residenciais e comerciais. A chuva começou por volta das 6h com maior volume entre as 9h e às 10h, chegando a 60mm em duas horas e

meia, o que corresponde a mais da metade da média histórica para o mês, e finalizando às 16h. Os dados de chuva foram obtidos através do Centro Nacional de Monitoramento e Desastres Naturais (CEMADEN).

O software utilizado para a modelagem computacional foi o SWMM 5.1, desenvolvido e disponibilizado de forma gratuita pela agência de proteção ambiental norte-americana (United States Environmental Protection Agency-EPA). O modelo de gerenciamento de águas pluviais é utilizado em todo o mundo para planejamento, análise e projetos relacionados a sistemas de drenagem e esgoto sanitários (EPA, 2021).

Para as simulações realizadas no SWMM foi utilizada como parâmetro a Curva Número (CN), que por sua vez depende da textura do solo e da ocupação do solo em estudo, para tanto, os dados do solo aplicados a essa pesquisa foram consultados com referência na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

De acordo com o Mapa Simplificado de Solos do Estado do Paraná os solos dominantes na limitação do município de Pato Branco são Latossolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos (EMBRAPA, 2012). Os solos apresentam à textura de acordo com suas características específicas, para o solo Latossolos a textura apresenta variáveis de argila, o solo Neossolo Litólico caracteriza-se por apresentar uma textura siltosa, arenosa, média ou argilosa, já o Neossolo Regolítico é caracterizado por uma textura argilosa com baixas frações de areia e cascalho (EMBRAPA, 2005).

Após ser definido o tipo de solo foi analisado o tipo de ocupação para cada porcentagem de área de lote, calçada e vias públicas das sub-bacias, o valor de CN atribuído para os elementos têm por base valores da Quadro 1.

Quadro 1: Valores de CN para bacias com ocupação urbana.

Descrição do uso do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	D
Espaços abertos: matos ou gramas cobram 75% ou mais da área		39	61	74	80
Matos cobrem 50 a 75% da área		49	69	79	77
Áreas comerciais (85% impermeáveis)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)		81	88	91	93
Áreas residenciais		Tipo de solo			
Tamanho do lote (m ²)	Área impermeável (%)	A	B	C	D
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques e estacionamentos, telhados, viadutos		98	98	98	98
Arruamentos e estradas: asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Santos e Lollo (2016).

Os dados de simulações realizadas no software foram analisados de forma comparativa com intuito de apresentar a variação dos dados de acordo com os cenários estudados, sendo eles, pré-ocupação, pós-ocupação, pós-ocupação com LID (pavimento permeável) e pós-ocupação com LID (pavimento permeável e reservatório de retenção).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com objetivo de modelar um sistema de drenagem urbana e prever possíveis soluções de controle do escoamento superficial em um loteamento no município de Pato Branco-PR, foi proposto na pesquisa simulações com cinco cenários diferentes, sendo eles de pré-ocupação, pós-ocupação, pós-ocupação com (pavimento permeável), pós-ocupação com (reservatório de retenção) e pós-ocupação com (pavimento permeável e reservatório de retenção).

Tendo por base a tabela de uso e ocupação do solo nas macrozonas do município de Pato Branco, a porcentagem de área impermeável adotado para os lotes em estudo foi de 70% e de acordo com cada tipo de ocupação do solo utilizou-se curva número característica para lotes, passeio e vias públicas, conforme apresentado no Tabela 2.

Tabela 2: Características e Curva Número para cada tipo de ocupação do solo.

Cobertura do solo	Pré-ocupação	Pós-ocupação
%impermeável do lote	0	70
% impermeável das calçadas	0	50
% impermeável das vias públicas	100	100
Curva número (CN) lote	80	92
Curva número (CN) calçadas	80	95
Curva número (CN) vias públicas	98	98

O modelo desenvolvido no Software SWMM é composto por uma estrutura considerando parâmetros do estado do modelo e editor LID. O estado do modelo comporta as 74 sub-bacias, 14 poços de visitas, 34 bocas de lobo, 48 tubos de condução e 1 exutório, onde cada componente possui parâmetros diferentes. Já os sistemas LID utilizados para reduzir o escoamento superficial possuem os mesmos parâmetros em sua estrutura, sendo estes aplicados proporcionalmente a cada sub-bacia. O Quadro 2 demonstra os principais parâmetros de LID utilizados na construção dos cenários em estudo.

Quadro 2: Principais parâmetros do Editor LID.

Camadas	Parâmetros	Pavimento poroso	Reservatório de retenção
Superfície	Altura da berma (mm)	1,5	-
	Volume de vegetação	0	-
	Rugosidade Mannings n	0,015	-
	Declividade	1	-
Pavimento	Altura (mm)	60	-
	Proporção de vazios	0,16	-
	Permeabilidade (mm/h)	254	-
Assentamento	Altura (mm)	20	-
	Porosidade	0,5	-
	Capacidade de campo	0,2	-
	Ponto de murcha	0,1	-
	Permeabilidade (mm/h)	254	-
Armazenamento	Altura (mm)	600	1000
	Proporção de vazios	0,63	-
	Taxa de infiltração (mm/h)	1	-

Os resultados destacam os 5 maiores picos causados pela precipitação do dia 09/06/2020, sendo estes nos horários de 11:40h, 12:30h, 12:50h, 13:10h e 16:00h, onde o maior ocorreu às 12:30h.

A vazão máxima foi analisada no exutório, que é o ponto final em que concentra todos os ramais da rede de drenagem do loteamento, representado pelo hietograma na Figura 3. É possível verificar a vazão de pico no decorrer da precipitação nos 5 cenários e o controle gerado pelos sistemas de pavimento permeável e reservatório de retenção sobre a vazão de pico na pós-ocupação.

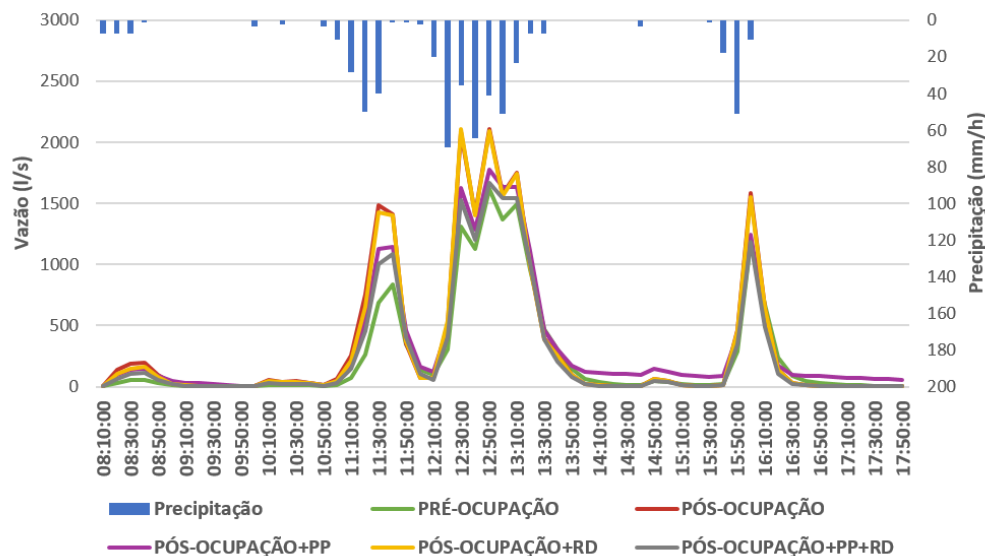


Figura 3: Hietograma da vazão de saída nos 5 cenários.

A vazão de maior pico ocorreu às 12:30h, com vazão de pré-ocupação de 1616,73 L/s, 2112,54 L/s na pós-ocupação, sendo então o escoamento superficial de pós-ocupação parcialmente controlado pelos sistemas LID de pavimento permeável e reservatório de retenção, sendo a vazão de 1778,58 L/s e 2092,86 L/s, respectivamente. A redução do escoamento superficial, quando aplicado os dois sistemas LID na pós-ocupação, chega a uma vazão de 1671,36 L/s, equivalente a 89% de controle do escoamento superficial gerado na pós-ocupação.

A Figura 4 representa o hietograma da velocidade e, o volume/lâmina de água está apresentada na Figura 5, tanto a velocidade quanto o volume foram analisados no tubo de condução (C24), que é a tubulação mais crítica do sistema de drenagem urbana.

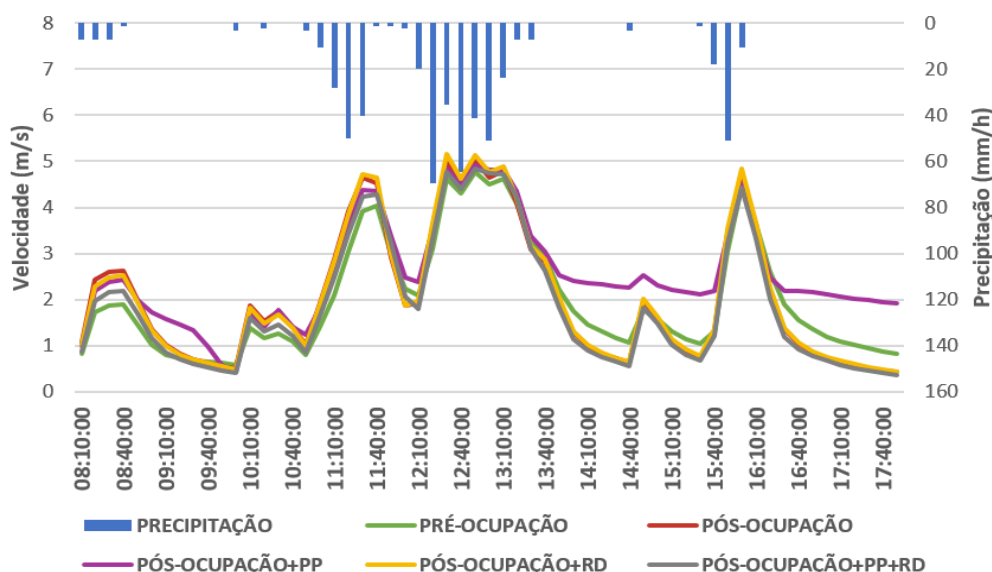


Figura 4: Hietograma da velocidade nos 5 cenários.

A velocidade de escoamento da água em uma tubulação de drenagem urbana ideal não deve superar os 5 m/s, para tanto, na tubulação C24 às 12:30h a velocidade chega a 5,02 m/s e 5 m/s às 12:50h, isso para o cenário de pós-ocupação, sendo novamente controlado pelos sistemas LIDs de pavimentos permeáveis e reservatórios de retenção que juntos chegam a um controle de 63% na velocidade da tubulação C24.

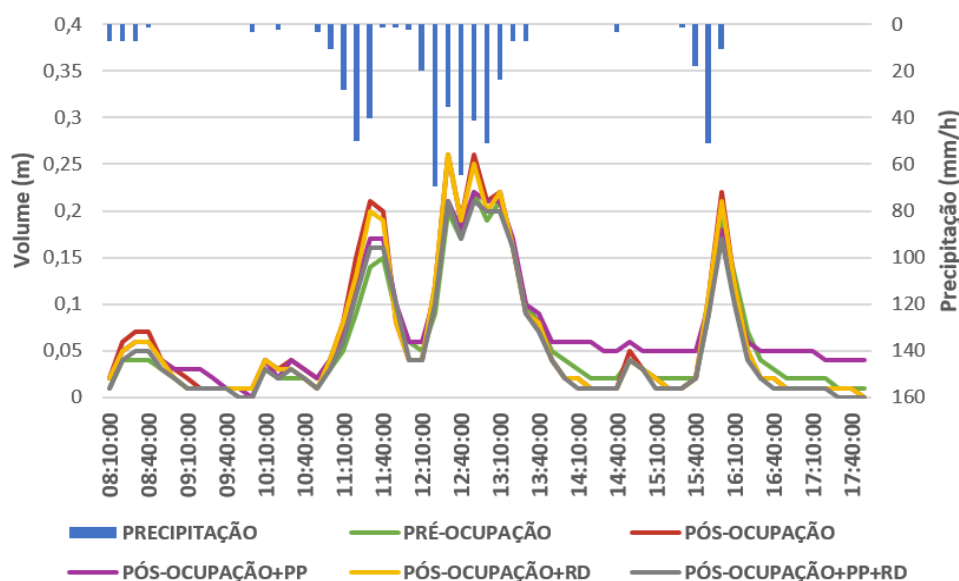


Figura 5: Hietograma do volume nos 5 cenários.

Para o volume de água na tubulação C24, a altura máxima chega a 0,26 m, onde a tubulação encontra-se com diâmetro igual a 0,40 m, sendo assim, o volume de água está dentro dos padrões ideais não superando o coeficiente ideal de $y_0/D = 0,80$ e sendo novamente, parcialmente controlado pelos sistemas LID.

Outra questão que pode ser observada nos resultados dos hietogramas de vazão, velocidade e volume é a eficiência no controle de pós-ocupação quando aplicado os sistemas LID de pavimento poroso e reservatório de retenção analisados entre si e quando aplicados em conjunto. O sistema de pavimento permeável apresenta uma eficiência maior na redução do escoamento superficial, quando comparado com o reservatório de retenção.

Apesar do sistema de reservatório em alguns casos, como da velocidade, não auxiliar na redução da velocidade de escoamento da tubulação, quando os sistemas LIDs aplicados em conjunto têm um desempenho melhor do que quando comparados e analisados isoladamente. A Figura 6 representa a eficiência dos sistemas LID quando comparados entre si e em conjunto.

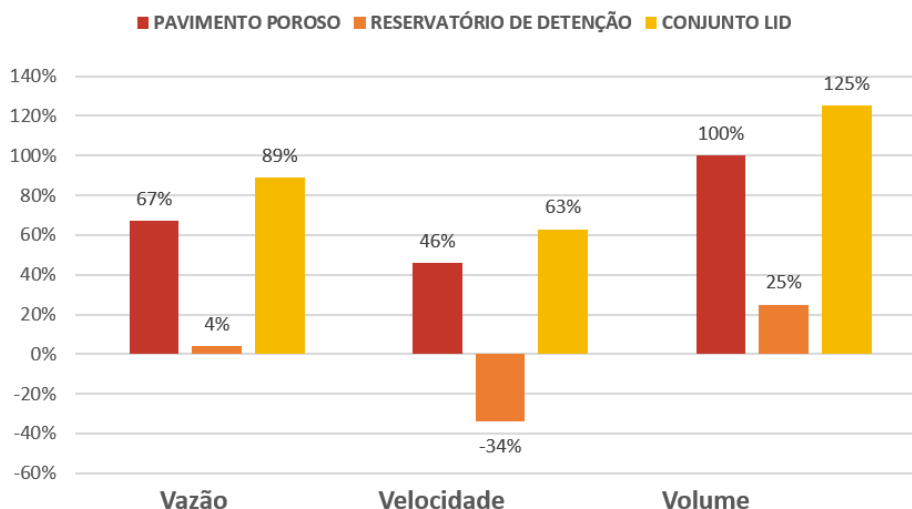


Figura 6: Eficiência no controle de pós-ocupação dos sistemas LID.

Ao realizar a modelagem computacional de sistema de drenagem urbana, possibilita que gestores e estudiosos da área apliquem diversos cenários de ocupação das áreas urbanas, contribuindo para o planejamento e previsão de alagamentos e inundações nos centros urbanos.

O controle da vazão dos sistemas de drenagem com aplicações LID é de extrema necessidade para evitar enchentes e erosão dos mananciais localizados a jusante, além de contribuir para o abastecimento de águas subterrâneas, no caso de sistemas que possibilitam a infiltração de água no solo.

Controlar o escoamento superficial, vazão de pico, velocidade e a lâmina de água nas tubulações auxilia no aumento da vida útil do sistema, além de evitar extravasamento nas bocas de lobo e transtornos socioambientais.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O gerenciamento sustentável de águas pluviais tem gerado muitas discussões no mundo todo, assim como se tem desenvolvido várias aplicações em sistemas de drenagem sustentável. Para tanto, é necessário conhecer as características e parâmetros variáveis de cada sistema, garantindo assim a eficiência em sua aplicação.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram avaliados cinco cenários de sistemas de drenagem urbana: pré-ocupação, pós-ocupação, pós-ocupação com (pavimentos permeáveis), pós-ocupação com (reservatório de retenção), pós-ocupação com (pavimentos permeáveis e reservatórios de retenção). A modelagem realizada no software SWMM possibilitou analisar parâmetros e características dos sistemas integrados.

O desafio deste estudo foi utilizar sistemas LIDS para reduzir o excesso de escoamento superficial pós-ocupação. As análises realizadas sugerem que a utilização de pavimentos permeáveis e reservatórios de retenção permitiram o controle parcial do escoamento excedente da pós-ocupação. Para tanto, o cenário com melhor desempenho no controle de escoamento superficial é quando aplicado em conjunto o pavimento permeável e o reservatório de retenção.

Dessa forma, para o presente estudo os sistemas LIDs utilizados apresentaram eficiência e funcionalidade em sua aplicação. Como resultado, ainda há muito o que aprender sobre sistemas LID, principalmente em termos de modelagem computacional. A modelagem computacional e os sistemas de drenagem urbana são poderosos instrumentos de gestão pública que podem ajudar a minimizar os efeitos negativos sobre o meio ambiente, a economia e a sociedade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Batalini de Macedo, M. , Nóbrega Gomes Júnior, M. , Pereira de Oliveira, TR , (...), Ambrogi Ferreira do Lago, C. , Mendiando, EM. Práticas de desenvolvimento de baixo impacto no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas: um novo conceito, lições aprendidas e desafios. Avaliações críticas em ciência e tecnologia ambiental, 2021
2. CEMADEN-Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Mapa Interativo. Disponível em: <https://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em 15 de novembro de 2021.
3. Embrapa florestas. Mapa simplificado de solos do Estado do Paraná. Disponível em: https://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/mapa_solo_pr.pdf. Acesso em 06 de dezembro de 2021.
4. EPA, United States Environmental Protection Agency. Storm Water Management Model - SWMM 5.1.015. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. Acesso em 05 de dezembro de 2022.
5. Ghodsi, SH , Zahmatkesh, Z. , Goharian, E. , Kerachian, R. , Zhu, Z. Projeto ideal de práticas de desenvolvimento de baixo impacto em resposta às mudanças climáticas. Journal of Hydrology, v. 580, 2020.
6. MIGUEZ, M. G., REZENDE, O. M., & VERÓL, A. P. (2015). City Growth and Urban Drainage Alternatives: Sustainability Challenge. Journal of Urban Planning and Development, 141(3), 04014026.
7. Prefeitura Municipal de Pato Branco. Anexo XIV-TABELA DE OCUPAÇÃO DO SOLO NAS MACROZONAS. Disponível em: <https://patobranco.pr.gov.br/planejamento/>. Acesso em 07 de novembro de 2021.
8. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/pato-branco.html>. Acesso em 02 de Dezembro de 2021.