



IX-022 - ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO AUXÍLIO À DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS NA BACIA DO RIO RIBEIRÃO DOS PADILHAS, CURITIBA – PR

Bruno Victor Veiga⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília - UnB. Mestre em Engenharia Hidráulica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP. Professor Assistente da Universidade Positivo - UP. Professor da Universidade Federal do Paraná - UFPR. Sócio da RDR Consultores Associados.

Noan Bortoluzzi⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Positivo - UP

Vinicius Slompo de Ávila⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Positivo - UP

Felipe de Oliveira Tavares⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Positivo - UP

Endereço⁽¹⁾: Rua Parigot de Souza, 5300 - Campo Comprido - Curitiba - PR - Brasil - Tel: (41) 3317-3000 - e-mail: bruno.veiga@up.edu.br

Endereço⁽²⁾: Rua Padre Giacomo Cusmano, 213 - Apartamento 904 - Campina do Siqueira - Curitiba - PR

Endereço⁽³⁾: Rua Roberto Gava, 420 - Pilarzinho - Curitiba - PR

Endereço⁽⁴⁾: Rua Doutor Alvaro Albuquerque, 141 - Bigorrião - Curitiba - PR

RESUMO

Como forma de resolver o problema de enchentes nas cidades este trabalho é um estudo de caso que verifica a eficiência promovida ao saneamento urbano da bacia hidrográfica do Rio Ribeirão dos Padilhas na substituição do asfalto comum pelo asfalto poroso. Foi escolhida esta bacia por possuir o menor índice de áreas verdes dentre as de mais bacias da região. Através dos softwares computacionais ArcGis e Hec-HMS, foi feita a caracterização da bacia, retirando o máximo de dados possíveis referentes a geometria e relevo. Após esta etapa foram realizadas várias simulações de chuvas com diferentes tempos de duração ao longo de toda a superfície da amostra. Como resultado, obteve-se o hidrograma de escoamento no exutório da bacia hidrográfica e verificou-se se a troca entre os pavimentos poroso pelo permeável traria alguma significância com relação a eficiência dessa substituição.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Pavimento Permeável, Bacia Hidrográfica, Rio Ribeirão dos Padilha, ArcGIS, HEC-HMS.

INTRODUÇÃO

A baixa permeabilidade do solo devida à intensa ocupação dos grandes centros urbanos apresenta-se como um problema a ser enfrentado pela engenharia. Uma das tendências atuais é a busca por materiais e soluções que contribuam para a mitigação dos efeitos causados por esse fenômeno (ALESSI, 2006).

O processo acelerado de urbanização das cidades brasileiras, ocorrido no final do século XX, trouxe consigo uma série de impactos negativos que afetam a qualidade de vida da população. Alguns destes problemas são as enchentes e as inundações, que resultam em prejuízos materiais, contribuem para a proliferação de doenças e podem representar perigo à vida (ALESSI, 2006).

Surge então a necessidade de drenar a água proveniente da chuva, de forma que ela não se acumule na camada superficial do solo quando impermeabilizado devido ao seu uso e ocupação (ALESSI, 2006).

A utilização do asfalto permeável no centro urbano faz com que o escoamento da água diante das chuvas não se restrinja apenas ao sistema de drenagem urbana, majorando a área permeável e diminuindo o coeficiente de escoamento superficial de uma bacia (ALESSI, 2006).

Dessa forma, o escoamento pode acontecer de forma mais lenta e controlada, permitindo o reabastecimento do lençol freático e diminuindo a vazão nas galerias e rios, evitando enchentes e inundações causadas pela sobrecarga do sistema (ALESSI, 2006).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido basicamente em duas etapas. A primeira etapa consistiu na realização do reconhecimento da área em estudo, a obtenção de seus dados, sua caracterização e a análise inicial do uso e ocupação do solo. Através deste estudo utilizando tanto dados do IPPUC quanto de fontes exteriores, como da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná e do Instituto das Águas do Paraná foram obtidos vários valores numéricos que apresentaram as principais características geométricas e hidrológicas da bacia.

Na segunda etapa foram utilizados recursos computacionais para manipular os dados obtidos anteriormente, visando atingir o objetivo final do trabalho, que é simular chuvas com tempos de ocorrência variados sobre um modelo hidrológico, buscando verificar a eficiência do asfalto permeável no sistema de drenagem da bacia. Esse trabalho pode ser classificado como exploratório, visto que é um estudo que tem o objetivo de explorar conceitos e conhecimentos já existentes visando solucionar um problema real. Através deste trabalho é possível que haja uma melhor análise e interpretação de fatos, buscando um maior aprofundamento através da realização de experimentos (PORTAL EDUCAÇÃO, 2013).

O estudo aprofundado de asfalto permeável é algo que já vem sendo feito por universidades americanas há algum tempo, porém este é um material que não é muito explorado no Brasil. A única vez em que o material foi experimentado no país foi no ano de 2010 pelo professor José Rodolpho Martins da USP (AUN-USP, 2010), aonde o material foi aplicado em um setor da mesma faculdade para que fosse testado a capacidade de drenagem do material (PINTO, 2011). Com o incentivo de análises do material e seus benefícios, essa realidade pode mudar.

Para que se possa chegar a uma conclusão precisa sobre a eficiência da aplicação do asfalto permeável na cidade de Curitiba, é necessária a realização de vários testes utilizando os softwares *ArcGIS* e *HEC-HMS*, manipulando modelos criados como cópias de localidades reais na busca de dados que favoreçam a drenagem urbana. Através de experimentos utilizando várias simulações com precipitações de duração diferentes na bacia do Ribeirão dos Padilha, tanto com asfaltos comuns como com asfaltos permeáveis, vários dados numéricos podem ser coletados e comparados para que a proposta do trabalho seja validada ou não. Devido a estes fatores descritos, podemos concluir que a abordagem da pesquisa é de caráter quantitativo, já que este modelo é caracterizado por quantificar dados para responder um determinado questionamento e por ser utilizado para que haja a validação estatística de uma hipótese.

A amostra utilizada no trabalho se deu na forma de uma bacia hidrográfica recriada na forma de um modelo digital dentro de um software. Dentro deste modelo computacional foram introduzidos todos os dados característicos da bacia real, como geometria, hidrografia, principais sub-bacias, entre outros. Foi decidido adotar uma amostra do município de Curitiba, pois as grandes metrópoles possuem uma taxa de urbanização maior do que as demais cidades, tendendo uma maior ocorrência de enchentes e fazendo com que o asfalto permeável venha a ser mais requisitado. Apesar de que os dados retirados da pesquisa sejam exclusivos de apenas uma bacia Curitibana, esses podem ser aplicados nas demais bacias à título de estudo apenas, caso queira ser verificado os efeitos da troca de asfaltos não apenas em um trecho, mas na cidade como um todo. Por esses motivos, a amostra pode ser classificada como probabilística, que é aquela que garante probabilidades iguais para todos os demais elementos não considerados, ou seja, todos os dados coletados para um modelo podem ser considerados para os demais.

A análise do comportamento do escoamento na bacia hidrográfica em estudo se deu através da utilização de recursos computacionais. Com o modelo digital da bacia e os dados de precipitação e permeabilidade, foi possível realizar o estudo.

Identificadas as áreas dos diferentes tipos de pavimento presentes na região, analisou-se o comportamento do escoamento, manipulando os dados de permeabilidade. Para isto, o software *HEC-HMS* com integração ao *ArcGIS* possibilitou a análise do escoamento com diversas possibilidades de precipitação.

O estudo se baseou na alteração do tipo de pavimento. Primeiramente, será analisado o cenário atual, com pavimento comum com baixo coeficiente de permeabilidade. Em seguida, foi analisado o impacto da substituição do pavimento comum por asfalto permeável, quantificando o ganho que esta técnica representa no tempo de escoamento da bacia e como isso pode contribuir para a diminuição do risco de acontecimentos de cheias.

O processo para análise do escoamento da bacia hidrográfica se deu da seguinte maneira: primeiramente foi utilizado o *ArcGIS*, para a obtenção de dados característicos da bacia em questão, para isso foram utilizados os arquivos disponibilizados pelo IPPUC (curvas de nível, lotes, áreas verdes, pavimentos) permitindo então a realização da caracterização fisiográfica da bacia.

Em seguida estes dados obtidos foram exportados para o *HEC-HMS* para que fosse criado o modelo hidrológico e assim realizada a simulação de chuvas torrenciais ao longo de toda a superfície da bacia. Este estudo foi feito para verificar como a variação das propriedades de infiltração do asfalto poderia impactar o comportamento do escoamento ao longo do modelo hidrológico.

As simulações foram feitas por meio de cinco precipitações diferentes e mesma intensidade, sendo que a única propriedade que se diferenciará entre uma e outra é a duração. Por fim, os resultados obtidos nas cinco simulações foram analisados verificando a efetividade do pavimento poroso de acordo com o tempo de duração das chuvas.

DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM

Neste item é feita uma breve descrição das etapas realizadas no processo de modelagem hidrológica, com a integração "híbrida" com as ferramentas de geoprocessamento do *ArcGIS*.

Retirada de dados utilizando o *ArcGIS*

Nesta etapa, a ideia inicial era realizar todo o estudo hidrológico dentro do próprio *ArcGIS*, utilizando as ferramentas de extensão do *HECGeo-HMS* e do *ArcHydro*. Porém, em função da inconsistência nas bases de dados e a necessidade de se ter informações preparadas para a simulação de escoamentos, identificou-se a necessidade de migração do modelo para o *HEC-HMS*. A falta de dados sobre a localização do deságue dos rios afluentes no rio principal. Sendo assim, criou-se o modelo manualmente direto no *HEC-HMS* utilizando como base o arquivo gerado pelo *ArcGIS*.

Área das Sub-Bacias

Através do layer de sub-bacias de Curitiba, disponibilizado pelo IPPUC, foram destacadas apenas aquelas que pertenciam à bacia do Ribeirão dos Padilhas, para que assim pudessem ser determinadas as áreas de cada uma que posteriormente serviriam como dados de entrada no *Hec-HMS* para a simulação de chuva sobre a superfície. Cada uma destas sub-bacias recortadas recebeu uma numeração que de identificação, conforme mostrado na Figura 1.

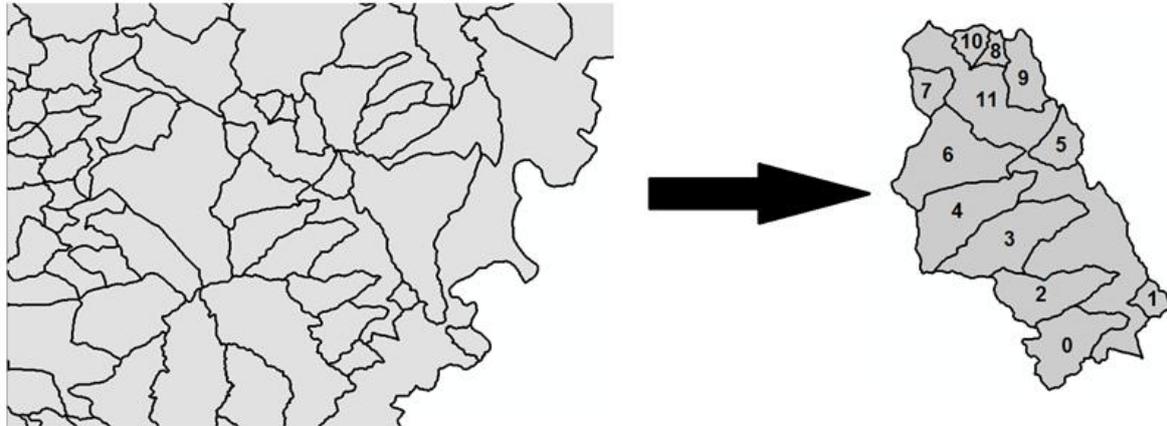


FIGURA 1 – Layer de Sub-Bacias de Curitiba disponibilizado pelo IPPUC, junto do recorte daquelas pertencentes à Bacia do Ribeirão dos Padilha utilizando as ferramentas do ArcGIS (IPPUC, 2001)

O arquivo de layers do IPPUC já disponibilizava uma planilha das principais características geométricas das sub-bacias como área e comprimento de contorno de cada uma, sendo que esta planilha pode ser aberta no *ArcGIS*. Foram destacadas as áreas em km² de cada uma para serem utilizadas posteriormente na simulação do *HEC-HMS*.

Área de Asfalto

Assim como no tópico anterior, o IPPUC disponibilizou um arquivo de *layers* do *ArcGIS* com toda a pavimentação asfáltica da cidade de Curitiba, contendo também a tabela de atributos com algumas das características dessa pavimentação, como comprimento e nome de cada uma das ruas.

Com a ajuda da ferramenta de seleção do *ArcGIS*, foram recortadas apenas as ruas que pertenciam a bacia do Ribeirão dos Padilhas para o cálculo da área total de asfalto desta bacia. Após este recorte, estabeleceu-se que a bacia dispunha de 4.921 ruas e um total de 466.561,68 m de asfalto. Para o cálculo da área, admitiu-se uma largura padrão de 7 metros para todas as ruas, chegando-se assim a uma área de 3.265.931,752 m² ou 3,26 km², dado que viria a ser utilizado posteriormente na modelagem do *HEC-HMS*. Na Figura 2 é possível verificar o recorte das ruas pertencentes a bacia em questão feito no *ArcGIS*.

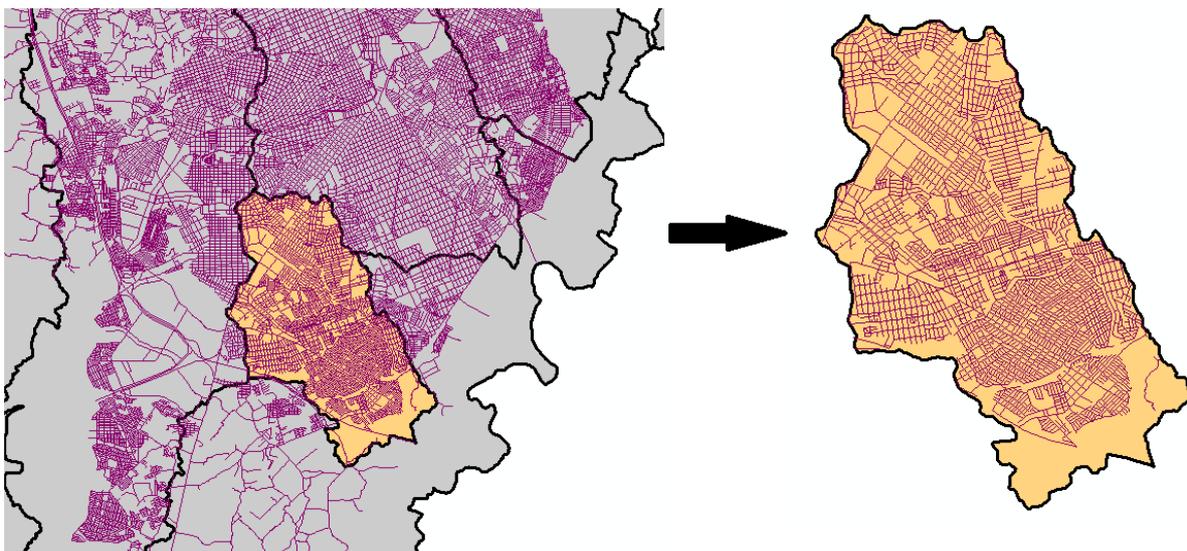


FIGURA 2 - Layer de Eixo de Ruas de Curitiba disponibilizado pelo IPPUC, junto do recorte daqueles pertencentes à Bacia do Ribeirão dos Padilha utilizando as ferramentas do ArcGIS (IPPUC, 2001)

Modelagem no HEC-HMS

Com os dados obtidos no *ArcGis* de caracterização da bacia hidrográfica do Rio Ribeirão dos Padilhas foram inseridos no software *HEC-HMS* para dar início às simulações.

O *HEC-HMS* foi o programa utilizado para simular as chuvas ao longo da superfície amostral, variando apenas o coeficiente de permeabilidade do asfalto para verificar se haveria ou não uma mudança significativa no escoamento superficial ao longo da bacia. Para isso, o método para a determinação do escoamento foi o SCS Curve Number, que consiste em simular um escoamento em cada pixel da matriz celular através de seu Curve Number (CN), e da precipitação indicada.

Antes de realizar a modelagem da superfície de escoamento no programa, alguns dados são requeridos para serem acrescentados a simulação, sendo eles:

- Curve Number;
- Lag Time;
- Porcentagem de impermeabilização;
- Precipitação.

Para a obtenção dos dados de escoamento da bacia, a principal fonte de pesquisa foi o Plano Diretor de Drenagem da Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, realizado pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, realizado em dezembro de 2002, que em seu volume 4.11 trata da Bacia do Rio Ribeirão dos Padilhas, apresentando as condições de uso e ocupação da época e também a projeção para o ano de 2020.

Na Figura 3 apresenta-se o plano diretor de drenagem para a bacia, identificando as sub-bacias de acordo com sua posição.

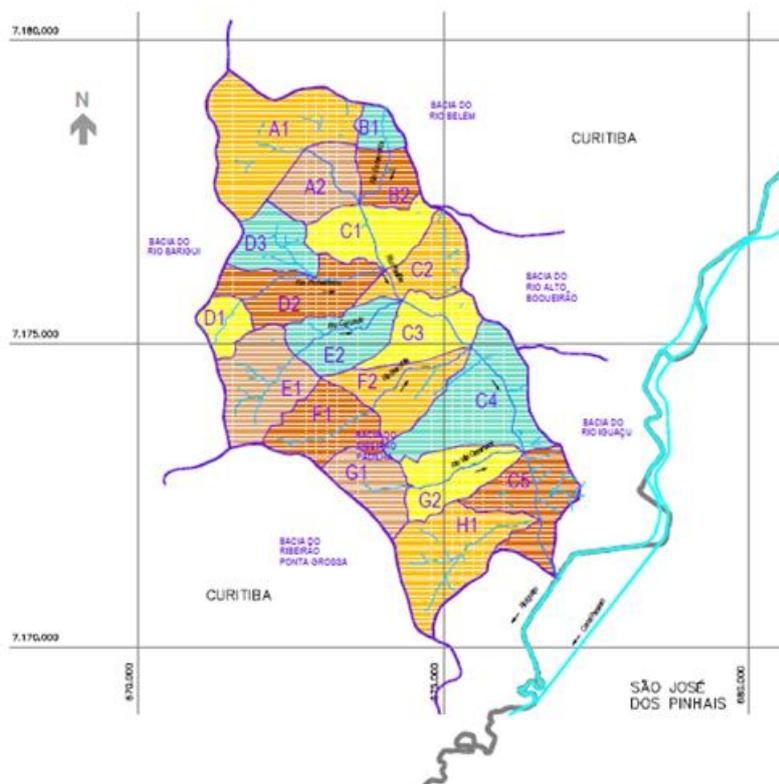


FIGURA 3 – Plano Diretor de Drenagem da Bacia do Ribeirão dos Padilha (SUDERHSA, 2002)
Obtenção dos Curve Numbers, tempos de concentração e tempos de retardo

Para cada uma das sub-bacias de estudo foram determinados os respectivos *curve numbers* através de média ponderada a partir dos dados fornecidos pela SUDERHSA. Foram utilizados os valores tendenciais, estimados para o ano de 2020, que representam melhor a situação atual.

Da mesma forma que foram obtidos os *curve numbers*, o tempo de concentração de cada sub-bacia foi calculado com base nos estudos da SUDERHSA.

Para obter o tempo de retardo inicialmente fez-se necessário determinar os tempos de concentração para cada uma das 12 sub-bacias presentes no modelo hidrológico. Para isso, verificou-se como cada uma destas sub-bacias se encaixa dentro do plano diretor de drenagem, retirou-se o tempo de concentração para cada trecho numerado da bacia, sendo que para aquelas sub-bacias compostas por mais de uma divisão do plano diretor, realizou-se uma média ponderada relacionando os respectivos tempos de concentração com as áreas superficiais. O tempo de retardo foi considerado como 60% do tempo de concentração (REIS, 2016).

Segundo a SUDERHSA, o método utilizado para determinação do coeficiente de escoamento (C), na transformação chuva-vazão foi o *Soil Conservation Service* dos EUA que calcula a separação do escoamento e gera o hidrograma da vazão x tempo. Este método combina um hidrograma unitário sintético triangular com um algoritmo de separação de escoamento, conhecido como parâmetro CN (*curve number*).

O que determina o formato do hidrograma e a vazão de pico é o tempo de concentração, que neste caso para as bacias que não se encontram totalmente dentro do Plano Diretor de Drenagem desenvolvido pela SUDERHSA e feita uma ponderação entre a área de cada sub-bacia vezes o coeficiente de impermeabilização sobre a área total da bacia.

Precipitações das simulações

A determinação do hietograma de precipitações foi realizada através da curva de intensidade, duração e frequência (curva IDF), da equação de intensidade das chuvas de Parigot para Curitiba e do método dos blocos alternados.

Foram realizadas cinco simulações de precipitação durante o estudo, sendo consideradas chuvas com tempo de recorrência de dois anos e tempos de duração de 30 minutos, 40 minutos, uma hora, duas horas e três horas.

Aplicando a equação de Parigot de Souza (PINTO, 1976) para duração da chuva entre 5 minutos e 180 minutos, obteve-se os resultados numéricos que dão origem aos hietogramas de precipitação. Para a definição desses hietogramas, foi usado o Método dos Blocos Alternados (ZAHED FILHO e MARCELLINI, 1995). Os gráficos 1 a 5 mostram esses hietogramas.

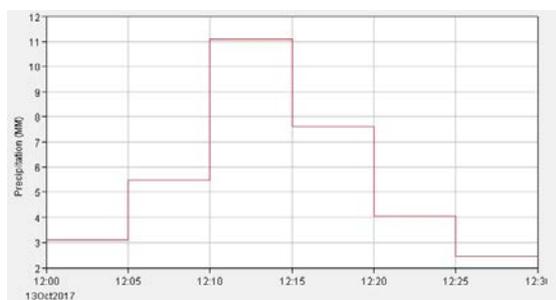


GRÁFICO 1 – Hietograma de 30 minutos

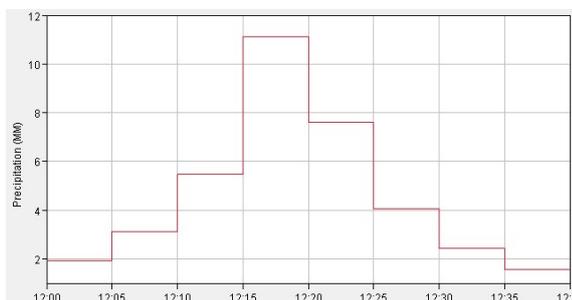


GRÁFICO 2 – Hietograma de 40 minutos

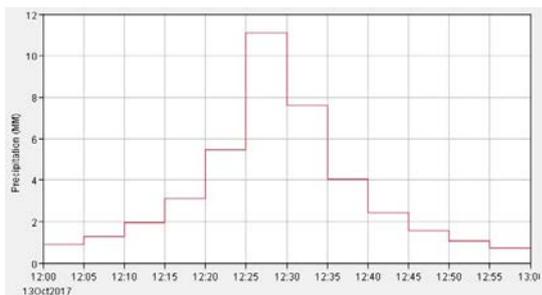


GRÁFICO 3 – Hietograma de 60 minutos

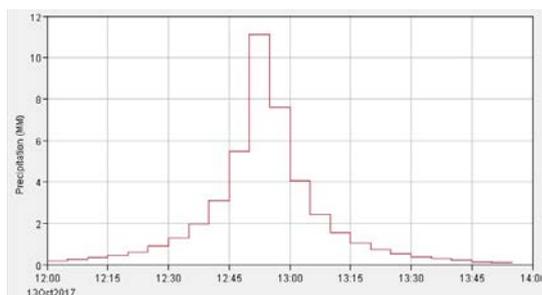


GRÁFICO 4 – Hietograma de 120 minutos

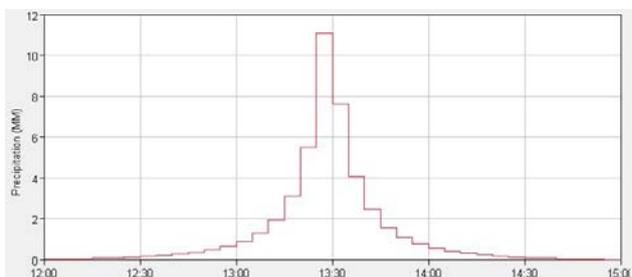


GRÁFICO 5 – Hietograma de 180 minutos

Com a entrada de todas informações descritas, foi obtido um modelo hidrológico aonde posteriormente foram simuladas as chuvas para geração dos hidrogramas. O resultado da modelagem da bacia do Ribeirão dos Padilha pode ser observado na Figura 30.

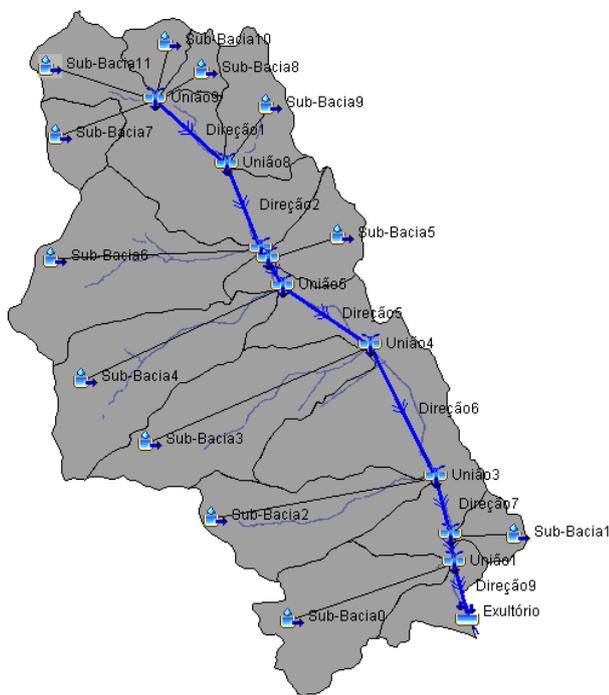


FIGURA 4 – Modelo Hidrológico da Bacia do Ribeirão dos Padilha

RESULTADOS

Os gráficos 6 a 10 mostram os hidrogramas na seção exutória da bacia para as precipitações simuladas nos referidos hietogramas.

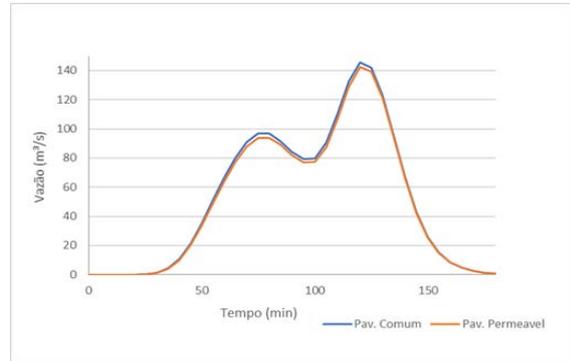
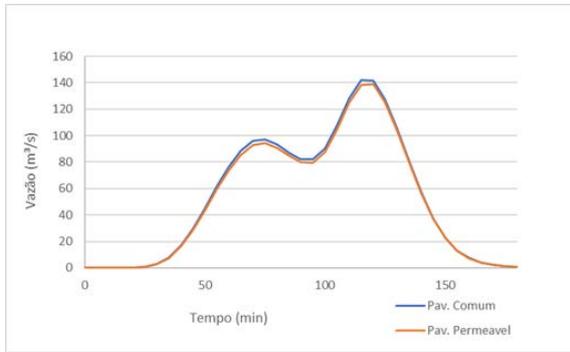


GRÁFICO 6 – Hidrograma para Precipitação de 30 min **GRÁFICO 7 – Hidrograma para Precipitação de 40 min**

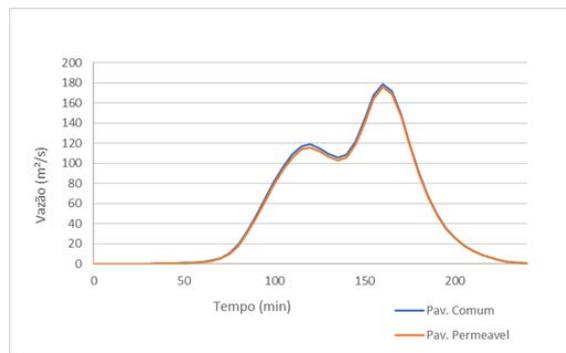
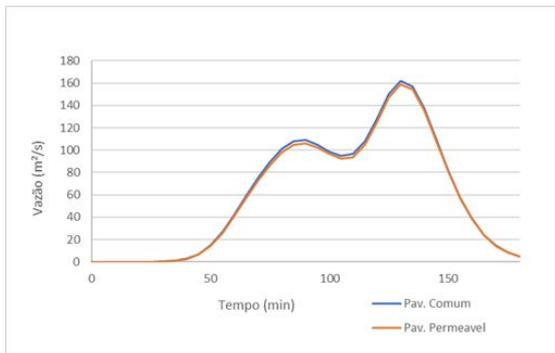


GRÁFICO 8 – Hidrograma para Precipitação de 60 min **GRÁFICO 9 – Hidrograma para Precipitação de 120 min**

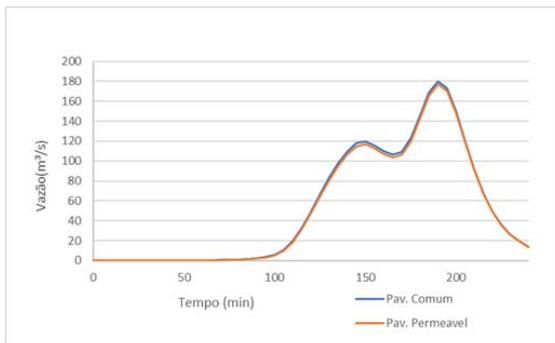


GRÁFICO 10 – Hidrograma para Precipitação de 180 min

O Gráfico 11 apresenta o grau de eficiência observado na comparação entre o pavimento comum e o pavimento permeável, medido através da diferença de vazão escoada no exutório da bacia.

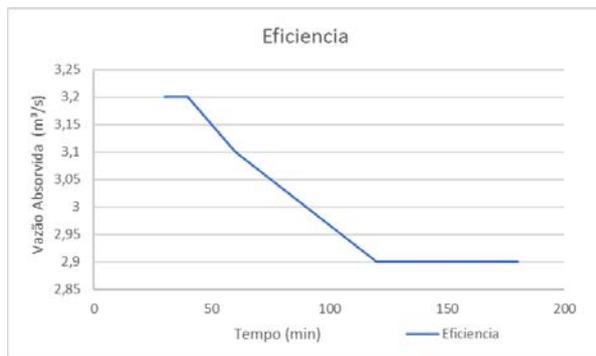


GRÁFICO 8 - Eficiência do escoamento superficial

CONCLUSÕES

Diante das análises feitas e dos gráficos apresentados, conclui-se que, em função da saturação do solo e do pavimento permeável, sua eficiência decresce ao longo do tempo, sendo que, para chuvas com tempo de duração maior que duas horas, sua contribuição fica estabilizada. Entretanto, sua utilização levaria a uma diminuição de até 3,2 m³/s na vazão no exutório da bacia para os momentos mais críticos do escoamento das precipitações, aliviando o sistema de drenagem urbana.

A análise retirada deste estudo é que se for considerado que o abatimento máximo de vazão que pode haver em uma chuva que varie de 30 minutos a 3 horas de duração é de 3,2 m³/s, para uma escala territorial tão grande quanto uma bacia, este valor não seja considerado de grande significância para a drenagem urbana. Isso se dá ao fato de a área asfáltica ser muito inferior a área superficial da bacia, visto que sua proporção em relação à área total da bacia é da ordem de 10%.

A conclusão que se pode tirar é que o asfalto drenante não trará grandes vantagens para o sistema de drenagem da bacia do Ribeirão dos Padilha, dadas as condições de uso e ocupação do solo. Porém isto não o impede de ser utilizado em casos de menor escala como bairros ou ruas que possuem problemas no sistema de drenagem já instalado, nos quais os elementos não dão conta do enorme volume de água escoado, causando assim enchentes. A aplicação do material nestes casos pode trazer vantagens tanto para o escoamento local quanto para a moradia dos cidadãos nesta área.

Ainda que os resultados não sejam tão expressivos quanto o esperado, ainda assim são relevantes. A utilização do pavimento permeável pode ser considerada em locais que apresentem problemas de drenagem e condições favoráveis à sua utilização.

Adicionalmente às conclusões feitas, recomenda-se que os dados geográficos sejam consistidos ao ponto de serem capazes de alimentar modelagens hidrológicas diversas que busquem o entendimento e a previsão do comportamento da drenagem urbana de Curitiba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Junior; GOMES, Julio. Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. Da Vinci, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 139-156, 2006.
2. ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, abr./set. 2016.
3. AUN-USP-AGÊNCIA UNIVERSITÁRIA DE NOTÍCIAS. USP desenvolve asfalto permeável que ajuda a diminuir inundações. Disponível em <http://www.usp.br/aun/antigo/exibir?id=3577&ed=561&f=2>, criado em 13/08/2010. Consultado em 08/05/17.
4. BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 1 ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008. 501 p.



5. FERGUSON, B. K..Porous Pavements: Integrative studies in water management and land development. 1 ed. [S.L.]: Taylor, 2005. 600 p.
6. PINTO, L.L.C.A. O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano. 2011, 255 f.. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP, 2011.
7. PINTO, N. L. S. et al. Hidrologia Básica. São Paulo: Edgard Bluncher, 1976.
8. PORTAL EDUCAÇÃO. Metodologia Científica: Tipos de pesquisa. Publicado em 30 de agosto de 2013. Disponível em <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/pedagogia/metodologia-cientifica-tipos-de-esquisa/50264>> Acesso em 20 de maio de 2017.
9. SUDERHSA. Plano diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Volume 4 – Modelagem das Linhas de Inundação da bacia do Ribeirão dos Padilha. CH2M Hill do Brasil Serviços de Engenharia LTDA.. Publicado em Dezembro de 2002.
10. TUCCI, Carlos E. M.. Hidrologia: Ciência e aplicação. 4 ed. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2007.
11. URBNAS, B., STAHR, P. Stormwater Best Management Practices and Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450 p., 1993
12. US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hydrologic Modeling Center: User's Manual. Versão 4.2. Hydrologic Engineering Center, 598p. Publicado em Agosto de 2016.
13. US ARMY CORPS OF ENGINEERS.Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual. Versão 4: HydrologicEngineer Center , Dezembro 2013. Disponível em:<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf> Acesso em 22 mai.2017.
14. ZAHED FILHO, K; MARCELLINI, S.S. Precipitações Máximas. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R. L.; Barros, M.T. (organizadores); *Drenagem Urbana*, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 5, Editora da Universidade, Porto Alegre, 1995.