

AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM MICRORRESERVATÓRIO COM O VOLUME EXIGIDO PELA LEGISLAÇÃO DE BELO HORIZONTE

Pedro de Paula Drumond^{1} & Márcia Maria Lara Pinto Coelho² & Priscilla Macedo Moura³*

Resumo – Este artigo analisa o funcionamento em laboratório de um microrreservatório, com o mesmo volume exigido pela Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo de Belo Horizonte para compensar a impermeabilização total de um lote com 360 m². Foi simulada a entrada de um hidrograma gerado para o lote nessas condições e avaliado o amortecimento proporcionado pelo microrreservatório com sete diâmetros diferentes de tubo de descarga: 3/4” (19,2 mm), 1” (25 mm), 1.1/4” (32,6 mm), 1.1/2” (42 mm), 2” (50,6 mm), 2.1/2” (65,6 mm) e 3” (75,4 mm). De acordo com o Caderno de Encargos da Sudecap (2008), o diâmetro mínimo da tubulação de descarga para o dispositivo de controle deveria ser 75 mm. Os resultados dos ensaios mostraram que o volume definido pela legislação é inferior ao necessário para realizar o amortecimento da vazão de pico gerada com a impermeabilização do solo. Constatou-se também que mesmo que o microrreservatório possua um volume de armazenamento suficiente, o tubo de descarga com diâmetro de 3” não restringe a vazão de pico do hidrograma de entrada.

Palavras-Chave – Microrreservatório, amortecimento da vazão de pico, drenagem urbana.

ASSESSMENT OF AN ON SITE STORMWATER DETENTION RESERVOIR OPERATION WITH THE VOLUME REQUIRED BY BELO HORIZONTE’S LEGISLATION

Abstract – This article analyses the operation of an OSD tested at laboratory scale, with the volume required by land use and occupation law of Belo Horizonte to compensate the total of waterproofing in a lot of 360 m². The hydrograph generated for the lot under those conditions was simulated and damping provided by the OSD was analyzed for seven different outlet pipe diameters: 3/4”(19.2 mm), 1" (25 mm), 1.1/4" (32.6 mm), 1.1/2" (42 mm), 2"(50.6 mm), 2.1/2" (65.6 mm) and 3"(75.4 mm). In accordance with the specifications of Sudecap (2008), the minimum diameter of the discharge outlet of the OSD should be 75 mm. The results of the tests showed that the volume defined by the legislation is less than the required to achieve the desired peak flow damping. It was noted also that even if the OSD has a sufficient storage volume, the discharge pipe with a diameter of 3 "does not restrict the input hydrograph peak.

Keywords – OSD – On-site Stormwater Detention, damping of peak flows, urban drainage.

^{1*} Engenheiro Sanitarista - Ministério Público do Estado de Minas Gerais, e-mail: pedrubh@yahoo.com.br.

² Professora Associado – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: lara@ehr.ufmg.br.

³ Professora Adjunto – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: priscilla.moura@ehr.ufmg.br.

INTRODUÇÃO

Belo Horizonte foi a primeira capital do país a exigir a construção de dispositivo de controle de drenagem na fonte para terrenos com grandes taxas de impermeabilização.

A Lei Municipal nº 7.166/96 (LPOUS) definiu diretrizes e parâmetros para o parcelamento, ocupação e uso do solo da cidade, dividindo e classificando o território em zonas de ocupação. A restrição para a ocupação de áreas ainda preservadas, a definição de taxas mínimas de permeabilidade do solo e a exigência de construção de caixas de retenção de águas pluviais, para os casos com impermeabilizações acima do permitido, foram os maiores avanços obtidos no aspecto de drenagem urbana.

As Leis Municipais nº 8.137/00 e nº 9.959/10 alteraram a lei de 1.996, modificando, em algumas situações, as taxas mínimas de permeabilidade dos terrenos.

O Art. 50 da lei atual (nº 9.959/10) define taxas de permeabilidade mínimas para cada zona de ocupação da cidade, como mostra a Tabela 1. Nesse artigo é permitido que as edificações, exceto as localizadas nas Zonas de Proteção Ambiental - ZPAM e de Proteção – ZPs, impermeabilizem até 100% (cem por cento) da área do terreno, desde que sejam construídas caixas de retenção de água pluvial. Estas devem possibilitar a retenção de até 30 L (trinta litros) de água pluvial por metro quadrado de terreno impermeabilizado que exceda o limite estabelecido em lei.

Tabela 1 – Parâmetros definidos na LPOUS de Belo Horizonte

Zona de Ocupação	ZA, ZAP, ZARs, ZHIP, ZCs e ZEs		ZEIS
Taxa de Permeabilidade Mínima	10% ($A_{Lote} \leq 360m^2$)	20% ($A_{Lote} > 360m^2$)	*
Volume da Caixa de Retenção (m^3)	30 L x A_{Imp}		*

Obs: *A ser definido em lei específica; A_{Lote} = Área do terreno; A_{Imp} = Área Impermeabilizada acima do estabelecido em lei; ZA – Zona de Adensamento; ZAP – Zona de Adensamento Preferencial; ZAR – Zona de Adensamento Restrito; ZHIP – Zona do Hipercentro; ZC – Zona Central; ZE – Zona de Equipamentos e ZEIS – Zona de Especial Interesse Social.

Drumond *et al.* (2011) realizaram uma comparação entre a legislação de Belo Horizonte e a das cidades de Curitiba, Guarulhos, Porto Alegre, Rio de Janeiro e São Paulo. Foram determinados os volumes de microrreservatórios para áreas entre 125 m² e 1.000 m², por meio das fórmulas definidas em cada legislação. O estudo mostrou que a legislação da capital mineira e a de Guarulhos exigiam o menor volume de retenção entre todas as avaliadas.

Quanto ao outro parâmetro importante para o dimensionamento do microrreservatório, a vazão de saída a ser lançada na rede pública de drenagem, a LPOUS de Belo Horizonte não definiu o diâmetro da tubulação de saída ou a área da abertura de descarga da caixa de retenção, dimensões que definem a vazão máxima de saída dos lotes.

A Sudcap – Superintendência de Desenvolvimento da Capital disponibilizou, por meio de seu Caderno de Encargos (2008), modelos de microrreservatórios para atender as especificações da Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo do município. O documento propõe que as caixas de retenção podem ser construídas com alvenaria de tijolos maciços requemados, blocos de concreto preenchidos ou concreto pré-moldado, devem possuir dimensões (largura e comprimento) mínimas de 60 cm e tubulação de descarga mínima de 75 mm.

Com o objetivo de avaliar o amortecimento da vazão de pico proporcionado por um microrreservatório com as mesmas características definidas pela Administração Municipal de Belo Horizonte, para um lote de 360 m², totalmente impermeabilizado, foi construído um modelo no CPH - Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos da UFMG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aparato experimental

De acordo com a LPOUS de Belo Horizonte, em um lote de 360 m² totalmente impermeabilizado deve-se implantar um microrreservatório com volume de 1,08 m³ (conforme fórmula mostrada na Tabela 1).

O aparato experimental construído no CPH possuía um volume total de 1,40 m³ e um volume útil aproximado de 1,07 m³. Como foi avaliado, através de modelagem, que o diâmetro de 75 mm, recomendado pela Sudcap, não seria suficiente para realizar o amortecimento da vazão de pico do hidrograma gerado para o lote, foram testados outros diâmetros de tubulação de descarga.

Tubos de descarga com 15 cm de comprimento foram dispostos no fundo do microrreservatório com os seguintes diâmetros nominais: 3/4" (19,2 mm), 1" (25 mm), 1.1/4" (32,6 mm), 1.1/2" (42 mm), 2" (50,6 mm), 2.1/2" (65,6 mm) e 3" (75,4 mm). Além das tubulações de descarga, foi instalado um extravasor na altura de 1,10m. A Figura 1 mostra uma foto do aparato experimental utilizado para a realização das simulações.

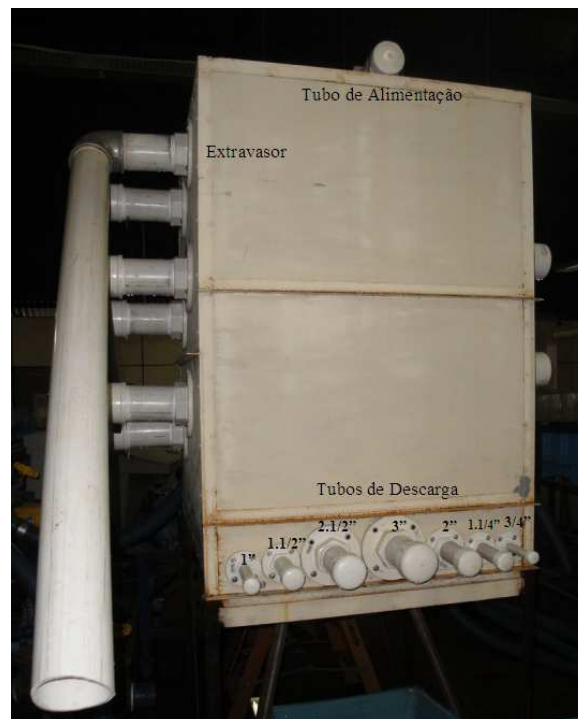


Figura 1 – Foto microrreservatório construído no CPH/UFMG

Determinação do hidrograma de entrada no microrreservatório

Para o cálculo do hidrograma de entrada do microrreservatório foi utilizado o método *Soil Conservation Service - SCS*, por ser um dos mais utilizados atualmente no setor de drenagem.

No cálculo da intensidade da precipitação foi utilizada a fórmula da curva do tipo IDF determinada por Pinheiro e Naghettini (1998) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH.

Para o cálculo da chuva de projeto foram adotados tempo de retorno de 10 anos e duração de 10 minutos, de acordo com a norma “*Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem urbana do município de Belo Horizonte*”, elaborada pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (2004), que preconiza esses valores nos estudos hidrológicos para o sistema de microdrenagem.

Para o cálculo do valor da intensidade de 194,48 mm/h, considerou-se uma precipitação anual em Belo Horizonte de 1.500 mm. Sabendo-se da existência de grande variedade de declividades nos lotes da cidade de Belo Horizonte, assumiu-se o valor médio do tempo de concentração como sendo de cinco minutos para o solo totalmente impermeabilizado.

A distribuição temporal da chuva foi realizada utilizando o método de *Huff* (Probabilidade de excedência de 50%) por meio das curvas de distribuições temporais da precipitação para diferentes probabilidades de excedência e durações elaboradas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, por Pinheiro e Naguettini (1998), com a discretização com intervalo de 1 (um) minuto.

O valor de 98 para *Curve Number* - CN foi definido consultando-se o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte (2000) e o estudo de Ramos (1998), para áreas impermeabilizadas.

Procedimento dos ensaios

Para a realização dos ensaios foi necessária a utilização de uma bomba para direcionar a água ao microrreservatório e de um canal com vertedor triangular para registrar as vazões de saída do microrreservatório.

As vazões encaminhadas pela bomba eram controladas por um inversor de frequência calibrado antes dos ensaios, por método volumétrico.

Para se determinar as vazões de saída do microrreservatório, utilizou-se um canal com vertedor triangular e um sensor de nível para registrar as variações das alturas d'água no canal.

De maneira a melhorar o escoamento no canal e a torná-lo menos turbulento, instalou-se na saída de cada tubulação testada um mangote de PVC, com diâmetro de 4", direcionando as águas para o fundo do canal, em uma região preenchida com pedregulhos, como pode ser visto na Figura 2 (a). O sensor de nível foi instalado a um metro do vertedor triangular, como é mostrado na Figura 2 (b).

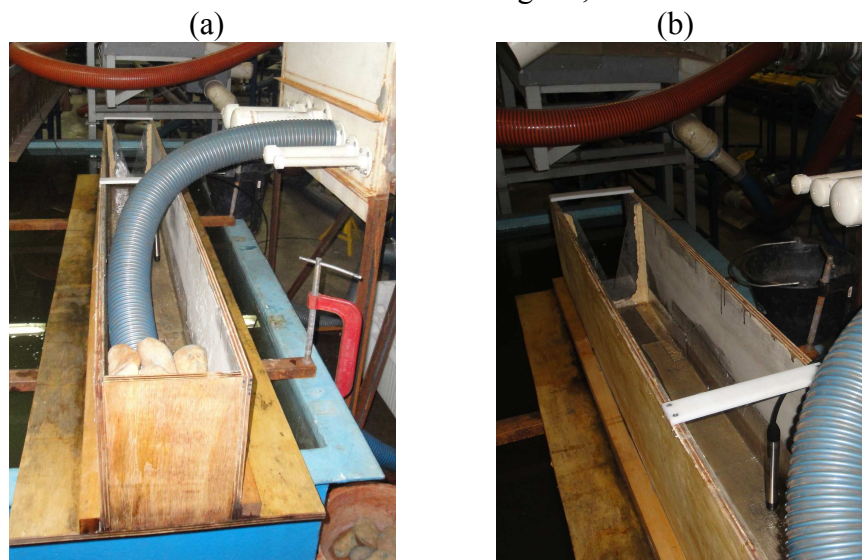


Figura 2 – Canal retangular utilizado para medir o hidrograma de saída (a) Disposição do mangote e das pedras (b) Localização do sensor de nível d'água

Antes de realizar os ensaios, foi realizada a calibração das vazões do vertedor do canal. A partir de vazões constantes e conhecidas na saída da bomba, foi obtida a relação vazão com a altura de nível d'água do canal.

Os ensaios no laboratório foram realizados da seguinte maneira:

1. Antes da realização de cada ensaio, os tubos de descarga que não eram testados foram tampados com CAP's;

- Os ensaios eram iniciados ligando-se a bomba e controlando-se as vazões de entrada no microrreservatório, através do inversor de frequência conectado à bomba. As vazões de entrada foram alteradas a cada minuto, de acordo com o hidrograma calculado;
- As alturas d'água no interior do microrreservatório foram registradas por meio de um sensor de nível colocado no interior do microrreservatório, permitindo o registro da altura do nível d'água durante o ensaio. O excesso de água era expelido pelo extravasor;
- Por meio de um computador portátil, foi possível verificar as medições de altura d'água do sensor de nível em tempo real. De forma a garantir os registros das alturas do nível d'água no canal do vertedor, foi anotado a cada minuto, desde o início dos hidrogramas, o valor do NA mostrado no computador;
- Após o término dos ensaios, os registros das alturas d'água no canal vertedor e no microrreservatório foram extraídos dos *dataloggers*, que armazenaram a média dos valores medidos nos sensores de nível em cada minuto;
- A partir dos valores de altura do nível d'água no canal vertedor, determinaram-se as vazões de saída das tubulações de descarga e conseqüentemente o hidrograma de saída.

O layout do conjunto experimental é mostrado na Figura 3.

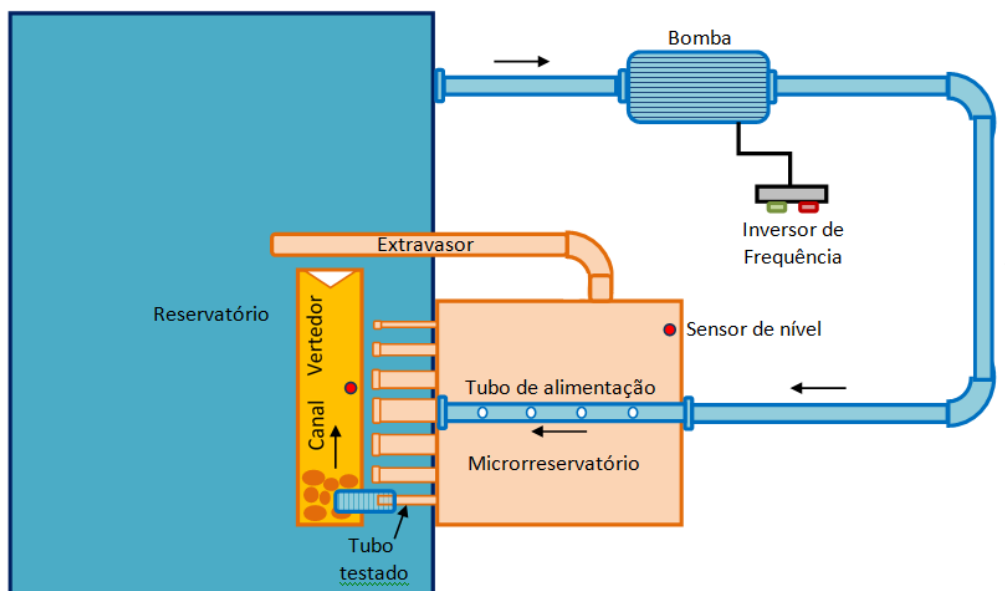


Figura 3: Layout do conjunto experimental

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como descrito no capítulo Materiais e Métodos, os registros de nível d'água foram processados e transformados em vazões, gerando os hidrogramas de saída dos tubos testados no microrreservatório.

Nas simulações em que houve extravasamento, as vazões de saída do extravasor foram calculadas subtraindo-se as vazões de entrada no microrreservatório pela vazão de saída no tubo de descarga.

A Figura 4 mostra os resultados das simulações realizadas com os 7 (sete) tubos de descarga. O "Hidrograma de Entrada" simulado foi o calculado para um lote de 360 m² totalmente impermeabilizado. Os "Hidrogramas dos tubos de 15 cm" mostram as vazões efluentes dos tubos de descarga testados e o "Hidrograma de Saída" mostra as vazões descarregadas do microrreservatório (vazão do tubo de descarga + vazão extravasada).

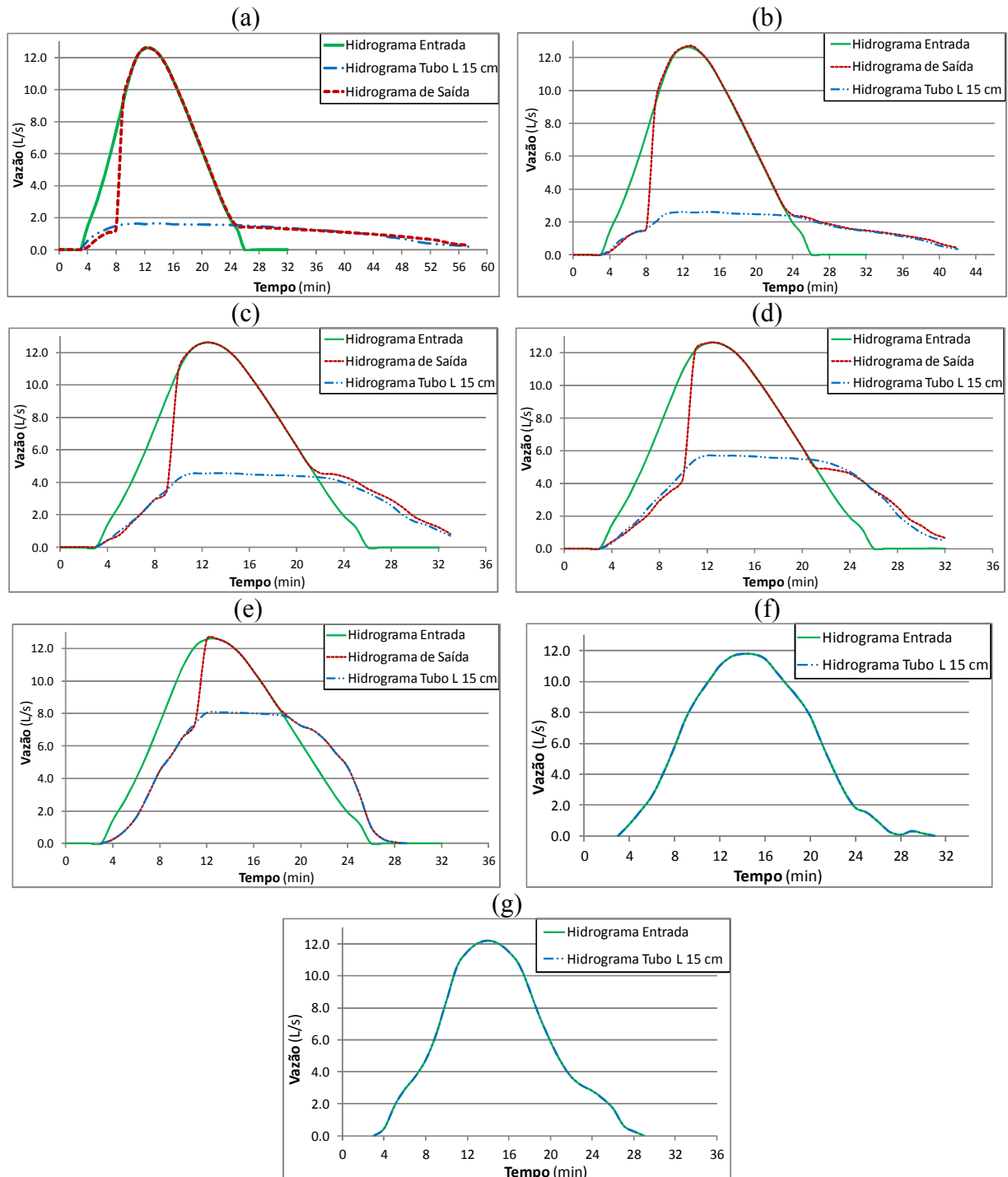


Figura 4: Resultados das simulações dos hidrogramas de entrada e saída do microrreservatório com tubos de descarga de diâmetro (a) 3/4" (b) 1" (c) 1.1/4" (d) 1.1/2" (e) 2" (f) 2.1/2" (g) 3"

Os resultados mostraram que não houve amortecimento da vazão de pico do hidrograma de entrada em nenhuma simulação. Nas simulações com os tubos de descarga com diâmetro de até 2", houve extravasamento do microrreservatório, enquanto que nas simulações com os tubos de descarga de 2.1/2" e 3", a vazão de pico do hidrograma de entrada foi igual a vazão de pico na saída dos tubos.

Os volumes extravasados no microrreservatório com tubos de descarga com diâmetros de 3/4", 1", 1.1/4", 1.1/2" e 2" foram, respectivamente, 7 (sete) m³, 6 (seis) m³, 4 (quatro) m³, 3 (três)

m³ e 1,2 m³. Estes volumes deveriam ser acrescidos ao volume existente do microrreservatório para que houvesse o amortecimento.

Apesar de não ter havido amortecimento para as simulações com os tubos de descarga de 2.1/2" e 3", a altura máxima do nível d'água no microrreservatório com o tubo de 2.1/2", foi de 75 cm e com o tubo de 3" foi de 42 cm.

Amortecimento necessário para manter as vazões naturais

Foi realizada ainda uma análise da configuração ideal do microrreservatório para que ocorresse o amortecimento da vazão de pico de entrada e mantivessem as vazões máximas de saída próximas as vazões de pico do solo nas condições naturais.

O cálculo dos hidrogramas também foi realizado com o método SCS. Após estudos realizados por Silva *et al.* (1995), Ramos (1998) classificou os solos do município de Belo Horizonte em dois grupos hidrológicos, B (GH-B) e D (GH-D). De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana de BH (2000), esses solos nas condições permeáveis possuem o CN de 69 para o GH-B e o CN de 84 para o GH-D.

Como o tempo de concentração é maior nas condições com o solo permeável, considerou-se um tempo de concentração de 10 minutos para o cálculo dos hidrogramas de saída dos lotes nas condições naturais para os dois tipos de solo. Os outros parâmetros utilizados foram os mesmos descritos no cálculo do hidrograma de entrada do microrreservatório. A Figura 5 mostra os hidrogramas calculados para os lotes de 360 m² nas condições naturais para os dois tipos de solo.

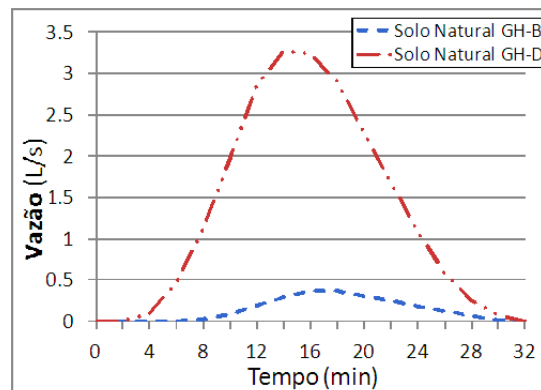


Figura 5: Hidrogramas gerados em um lote de 360 m² com o solo nas condições permeáveis

Baseando-se nas simulações realizadas, foi possível verificar que nenhum dos tubos testados restringe a vazão de pico de entrada do microrreservatório a valores próximos às vazões calculadas para as condições naturais do solo do grupo hidrológico B, que foi de 0,37 L/s. O tubo testado com o menor diâmetro (3/4") proporcionou uma vazão máxima de saída de 1,66 L/s.

Entretanto, para o lote do GH-D, um microrreservatório com volume de 7 (sete) m³ e um tubo de descarga com diâmetro de 1" possibilita que a vazão máxima de saída (2,61 L/s) seja inferior à vazão de pico do hidrograma nas condições naturais, que foi de 3,27 L/s.

CONCLUSÃO

Os resultados das simulações permitem concluir que o volume de retenção definido pela Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo de Belo Horizonte para um lote de 360 m² totalmente impermeabilizado, não é suficiente para compensar o acréscimo da vazão de pico gerado com a alteração do solo.

Constatou-se também que o diâmetro mínimo indicado no Caderno de Encargos da Sudecap (2008) para o tubo de descarga do microrreservatório não proporciona nenhuma restrição para as vazões do hidrograma de entrada.

Para impedir que a vazão excedente, provocada com a impermeabilização de um lote localizado em um terreno com solos pertencentes ao Grupo Hidrológico D, seja amortecida é necessário que o microrreservatório tenha um volume útil de aproximadamente 7 (sete) m³ e uma tubulação de descarga com diâmetro de 1” (25 mm). Entretanto, para um lote com solos do Grupo Hidrológico B não foi possível determinar um diâmetro que possibilite a redução da vazão de pico do hidrograma de entrada a níveis próximos à vazão máxima gerada com o solo nas condições naturais. O menor diâmetro testado permitiu a passagem de uma vazão de 1,66 L/s, cerca de 4,5 vezes maior do que a do solo natural.

Esses resultados evidenciaram a necessidade de se revisar a legislação de Belo Horizonte, alterando-se parâmetros e critérios, tanto para a determinação do volume do microrreservatório, quanto para a implementação de uma vazão de restrição para situações em que os lotes tenham os seus solos impermeabilizados.

Exigir o armazenamento de águas pluviais na fonte é uma forma de obrigar o responsável pela alteração das condições do terreno a compensar o acréscimo da vazão excedente provocado com a impermeabilização do solo e manter as vazões de pico próximas às vazões máximas de pré-urbanização.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem à FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro para o desenvolvimento científico e tecnológico das pesquisas realizadas.

REFERÊNCIAS

- BELO HORIZONTE.(1996). *Lei 7.166 de 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município*, Belo Horizonte 28 jul. 1996.
- BELO HORIZONTE.(2000). *Lei 8.137 de 21 de dezembro de 2000. Altera as leis n° 7.165/96 e 7.166/96*. Belo Horizonte, 21 dez. 2000.
- BELO HORIZONTE.(2010). *Lei 9.959 de 20 de julho de 2010. Altera as leis n° 7.165/96 e n° 7.166/96*. Belo Horizonte, 21 jul. 2010.
- DRUMOND, P. P., COELHO, M. M. L. P., MOURA, P. M. (2011) Análise do volume de reservação de águas pluviais em lotes: comparação do caso de Belo Horizonte com outras cidades brasileiras. In *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Maceió, Nov.2011.
- PINHEIRO, M. M.G., NAGUETTINI, M. (1998). “*Análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 3 n.4 pp. 73-88,Out/Dez 1998.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, (2004). Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte: Sudecap, 2004.
- RAMOS, M. H. D. (1998). *Drenagem urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte*. 1998. 103f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais.
- SILVA, A.B., CARVALHO, E.T., FANTINEL, L.M., ROMANO, A.W. e VIANA, C.S. Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte.(Projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte). Prefeitura de Belo Horizonte, UFMG, Instituto de Geociências. Belo Horizonte, 1995.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL, (2008). *Caderno de encargos: Sudecap*. Diretoria de Planejamento e Gestão – 3ª edição – Belo Horizonte: Sudecap.