

## ANÁLISE DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA NA BACIA DO CÓRREGO BONSUCESSO (BELO HORIZONTE - MG)

*Mhaisa Henrique de Paula*<sup>1\*</sup>; *Aline de Araújo Nunes*<sup>2</sup>

**Resumo** – A impermeabilização do solo e a canalização do escoamento, decorrente do processo de urbanização das cidades, têm feito emergir problemas relacionados à drenagem urbana e a frequentes ocorrências de inundações. A presente pesquisa pretende identificar os impactos e benefícios associados à implantação de infraestruturas verdes em uma bacia hidrográfica de Belo Horizonte – BH, Bacia do Bonsucesso, à luz dos altos índices de inundações na região. A primeira etapa do trabalho consistiu na busca de dados e informações geográficas para caracterização física da região, analisando-se os critérios de projeto das alternativas em estudo, a fim de se estabelecer pontos potencialmente exequíveis destas tecnologias. Foram realizadas simulações de ondas de cheia para condições reais e hipotéticas na bacia, considerando as restrições ocupacionais do zoneamento urbano de BH e as áreas potenciais nelas existentes. A pesquisa realizada permitiu o registro de 191 pontos favoráveis à implantação de infraestruturas verdes. Verificou-se que a inserção dessas técnicas apenas no âmbito público pouco colaboram para a redução de escoamento superficial. Nesse contexto, buscou-se por alternativas a nível de lote, que se mostraram mais eficazes. Os resultados são indicativos da necessidade de investimento em alternativas sustentáveis para minimização de impactos em bacias urbanas.

**Palavras-Chave** – Inundação, drenagem sustentável, modelagem hidrográfica

## IMPACT ANALYSIS OF THE IMPLANTATION OF COMPENSATORY TECHNIQUES IN URBAN DRAINAGE IN THE BONSUCESSO STREAM BASIN (BELO HORIZONTE – MG)

**Abstract** – The soil sealing and the drainage channeling, resulting from the process of urbanization of the cities, have given rise to problems related to urban drainage and frequent occurrences of floods. The present research intends to identify the impacts and benefits associated with the implantation of green infrastructures in a hydrographic basin of Belo Horizonte – BH, Bonsucesso Basin, due to the high flood rates in the region. The first stage of the work resides in data search and geographic information for the region physical characterization, analyzing the design criteria of the alternatives under study in order to establish potentially feasible points of these technologies. Flood wave simulations were carried out for real and hypothetical conditions in the basin, considering the urban zoning of BH occupational restrictions and the potential areas in it. The research allowed the registration of 191 points favorable to implantation of green infrastructures. It was confirmed that the introduction only in the public scope of these techniques does little to reduce surface runoff. At this point, proved more effective, alternatives at the land lot level were searched. The results are indicative of the need for investment in sustainable alternatives to minimize impacts in urban basins.

**Keywords** – Flood, sustainable drainage, hydraulic modeling

<sup>1\*</sup>Graduanda em Engenharia Civil, Bolsista FIP, PUC Minas – Depto. Engenharia Civil, CEP 30640-070 Belo Horizonte- MG. Correio eletrônico: mhaisahp@gmail.com

<sup>2</sup>Eng a Agrícola e Ambiental, Mestre em Engenharia Agrícola, Prof. Msc. PUC Minas - Depto. Engenharia Civil, CEP 30640-070 Belo Horizonte- MG. Correio eletrônico: alinedearajoununes@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo e a canalização do escoamento decorrentes do processo de urbanização das cidades têm feito emergir problemas relacionados à drenagem urbana (CRUZ; TUCCI, 2008). À medida que a impermeabilização das bacias se intensifica, as vazões de pico e volumes escoados sofrem um acréscimo expressivo, tornando os sistemas de drenagem insuficientes e induzindo a ocorrência cada vez mais frequente e intensa de inundações, poluição das águas, assoreamento, e transtornos à sociedade.

A mudança desse cenário exige o planejamento e implantação de um modelo de drenagem sustentável, em detrimento ao conceito de drenagem convencional sanitário-higienista existente. Nesse contexto, segundo Fletcher (2014), desde a década de 70 os países desenvolvidos utilizam técnicas como LID – Low Impact Development, as BMPs - Management Practices, SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems, que priorizam a drenagem natural e infiltração, de forma a compensar os efeitos negativos da urbanização, garantindo resultados satisfatórios.

No Brasil, embora o emprego de bacias de retenção e retenção venha ocorrendo desde os anos 90, segundo Batista *et al* (2005), em regiões metropolitanas como Porto Alegre, Curitiba, São Paulo e Belo Horizonte, quase inexitem ações de controle na fonte e redução da poluição urbana de origem pluvial.

Belo Horizonte (BH) apresenta problemas de inundações frequentes gerados pela falta de planejamento urbano eficiente e ocupação desordenada, que podem ser constatados na Carta de Inundação de 2009, elaborada pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Nunes (2015) constatou a ocorrência de 104 inundações na capital em um período de 30 anos, até 2014.

Considerando a importância do planejamento e da implantação de técnicas sustentáveis de drenagem urbana, em grandes centros urbanos, a exemplo Belo Horizonte, que demonstra clara fragilidade do sistema de drenagem convencional existente, em virtude do escoamento superficial de águas pluviais, objetivou-se com o presente trabalho analisar possíveis áreas e técnicas sustentáveis a serem implantadas na Bacia Hidrográfica do Córrego Bonsucesso, considerando a definição de critérios e restrições inerentes às mesmas, de forma a se estimar o impacto gerado na bacia em termos de contribuição de escoamento superficial.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A Bacia do Bonsucesso ocupa uma área de aproximadamente 11,76 km<sup>2</sup>, e está localizada em uma região considerada predominantemente industrial, na região sul da cidade de Belo Horizonte. A drenagem principal é realizada pelo Córrego do Bonsucesso, curso principal que recebe contribuições de canais menores ao longo de sua extensão, desaguando no Ribeirão Arrudas. Sua hidrografia se divide em quatro sub-bacias, que apresentam relevo acidentado e declividades bastante variadas.

A área em estudo apresenta um alto índice de ocorrência de inundações durante períodos chuvosos, sendo os pontos de maior criticidade caracterizados pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP/PBH através da Carta de Inundação de Belo Horizonte (2009). A Bacia vem apresentando um histórico problemático nesse sentido, principalmente ao longo de seu rio principal, embora tenha sido contemplada com a construção de uma bacia de retenção, concluída em 2010, pelo Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte – DRENURBS. Vale ressaltar, ainda, que 30% da bacia continua vegetada, em condição mediana. Os problemas de alagamentos acontecem ainda em função das más condições de funcionamento dos sistemas de micro

e macrodrenagem, e pela ausência de manutenção e educação ambiental da população. Sua localização, à montante de outras bacias, é responsável por eventos de maior magnitude que provocam transtornos e insegurança à população.

### Identificação de áreas potenciais para implantação de técnicas compensatórias

Foi realizada uma compilação de informações geográficas de Belo Horizonte, fornecidas pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte – PRODABEL, com o auxílio do ArcMap, principal componente do ArcGIS - Sistema de Informação Geográfica, fazendo-se sobreposições de dados necessários à caracterização da bacia do Bonsucesso, para posterior delimitação de áreas potencialmente exequíveis de tecnologias de drenagem sustentável. Nesta fase, a bacia foi dividida em quatro subáreas de contribuição, (Fig. 1), e foram analisados os requisitos inerentes à geologia, declividade, larguras mínimas de calçadas, uso e ocupação do solo.



Figura 1 – Vista geográfica das subáreas de contribuição da Bacia do Córrego Bonsucesso

A bacia do Bonsucesso está inserida sobre as formações geológicas do Quadrilátero Ferrífero (QF) e Complexo de BH, conforme figura 2, que dão origem a um relevo acidentado nas áreas de maior altitude e diversidade litológica. Na porção central, até a porção sul, predominam uma sucessão de rochas paleoproterozóicas metassedimentares integrantes do Supergrupo Minas, grupos Piracicaba, Itabira, Sabará, e depósito de tálus. Na porção norte predomina o Complexo Belo Horizonte, de embasamento granito- gnáissico de idade arqueana (GOMES, 2005).

Considerando sua constituição por xistos e filitos, o Grupo Sabará não apresenta boa permeabilidade, com nível do lençol freático profundo, sendo considerado um aquífero de baixo potencial de armazenamento. O Complexo Belo Horizonte, o Grupo Itabira e o Grupo Piracicaba apresentam locais de melhor permeabilidade e nível freático baixo nas porções médias a altas, devido à predominância de solos permeáveis e rochas, sendo o último, uma das maiores reservas subterrâneas da região (REIS, 2011).

Segundo Mendonça *et al* (2011, p. 7479) as “regiões formadas por depósitos de tálus, colúvios ou aluviões, em geral apresentam estruturas não coesas de material sedimentar, mal classificado e mal selecionado, podendo ter fragmentos grosseiros e angulosos, sem estratificação regular”.

De acordo com o Plano Diretor de Belo Horizonte (1995), sete diferentes zonas de ocupação e uso do solo caracterizam a área da bacia, sendo estas: zona de preservação e proteção ambiental

(ZPAM e ZP-1), zonas especiais de interesse social (ZEIS-1 e ZEIS-3), zona de grandes equipamentos (ZE), zona de adensamento preferencial (ZAP) e zona de adensamento restrito (ZAR-2). O zoneamento urbano estabelece os parâmetros urbanísticos que visam, dentre outros objetivos, o controle do crescimento urbano, a proteção de áreas de preservação e risco e o controle/delimitação de usos e atividades permitidos.

A declividade influencia diretamente na velocidade do escoamento superficial, que determina o tempo de concentração de uma bacia, (tempo necessário para a água deslocar do ponto mais extremo de montante de um leito fluvial ao seu ponto exultório), e, por conseguinte, o pico de cheia que condiciona a capacidade dos sistemas de drenagem existentes, e tipos de estruturas de drenagem. Cerca de 40% da área da bacia, (Fig. 3), possui declividades baixas (até 10%) e as demais áreas com declividades médias a altas (até 70%).

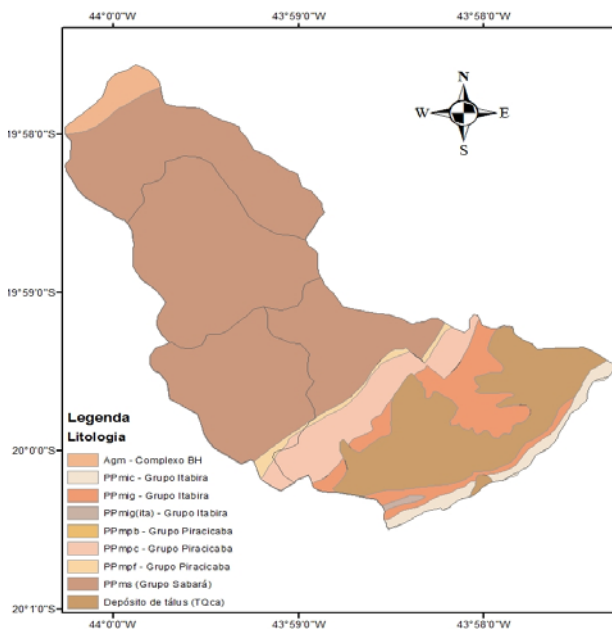


Figura 2 –Litologia da Bacia do Córrego Bonsucesso

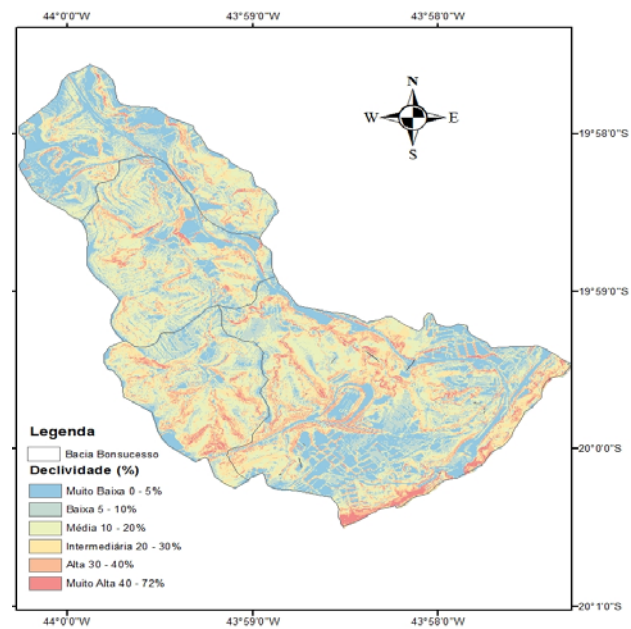


Figura 3 – Declividade da Bacia do Córrego Bonsucesso

A NBR 9050:2004 estabelece padrões a serem seguidos para áreas de calçadas, de forma a garantir suas funcionalidades. São recomendadas as distâncias de 1,5 metros para circulação de pedestres e 0,75 metros para faixa de serviço (jardins, árvores, placas, etc.).

Mediante o cruzamento destes dados, foram consideradas as áreas de calçadas com larguras mínimas de 2,5 metros e superiores, pertencentes a zonas que, em consonância com o zoneamento urbano vigente, são destinadas à ocupação humana, a hidrogeologia característica favorável, e declividades máximas de 10%, sendo as declividades mais altas não recomendadas. Os valores de referência foram adotados em função das limitações de exequibilidade e funcionalidade de técnicas compensatória.

Optou-se nesse estudo por técnicas compensatórias de fácil implantação, em função das dificuldades de inserção em uma bacia já urbanizada. Foi, então verificada a exequibilidade de implantação dos jardins de chuva, em locais públicos, e de estruturas de retenção e armazenamento em lotes.

Os jardins de chuva pertencem aos sistemas de biorretenção, e objetivam a retenção, filtração e infiltração das águas pluviais instalados em áreas escavadas, preenchidas com material granular,



camada de material orgânico e vegetação adequada (MELO *et al*, 2014). Os jardins de chuva são sistemas paisagísticos, de baixo custo, capazes de reduzir o volume de água escoado.

Infraestruturas de infiltração, retenção e armazenamento também podem ser empregados nos lotes, como por exemplo, área gramada, trincheiras, biorretentores ou microreservatórios. A utilização destas técnicas é capaz de garantir significativa redução no volume de escoamento destinado aos sistemas de drenagem.

Após a seleção e locação das infraestruturas verdes (técnicas compensatórias), foram feitas modelagens da bacia hidrográfica do Bonsucesso, com software ABC6, para análise dos impactos gerados. A primeira modelagem caracteriza as condições “in natura” da bacia, e as demais modelagens correspondem a simulações da implementação das técnicas compensatórias, em vias públicas e a nível de lote, selecionada.

O SSD ABC6 – Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas tem como finalidade a estimativas de vazões máximas por meio de simulações de ondas de cheia em pequenas bacias, facilitando o planejamento, mesmo quando há limitações de dados. Foi utilizado na elaboração dos hidrogramas de chuva o modelo triangular SCS, e para o cálculo da chuva excedente, o método SCS.

Para a modelagem de vazões de cheia simulando as condições reais da bacia utilizou-se valores de CN (curve number), variando de 50 a 90, característicos das zonas encontradas. Simulando a implantação de jardins de chuvas e pavimento permeável adotou-se CN de 50, e para a implantação de técnicas a nível de lote, CN de 63, considerando as condições locais, e proporção de área permeável de 30%, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados do cruzamento das informações geotécnicas, declividade, zoneamento e largura de calçadas, foram identificados 191 pontos potencialmente exequíveis para estruturas de infiltração, não sendo contabilizados locais com um ou mais dos parâmetros insatisfatórios, conforme figura 4. Embora uma extensa área esteja inserida no grupo Sabará, apresentando solo de menor permeabilidade, o nível do lençol freático é relativamente profundo, não impedindo a inserção de jardins de chuva e pavimento permeável. Os parâmetros de maior influência foram o relevo acidentado, declividades altas na maior parte da bacia e presença de zonas de proteção e preservação ambiental, que condicionam a relação entre a ocupação e áreas verdes.

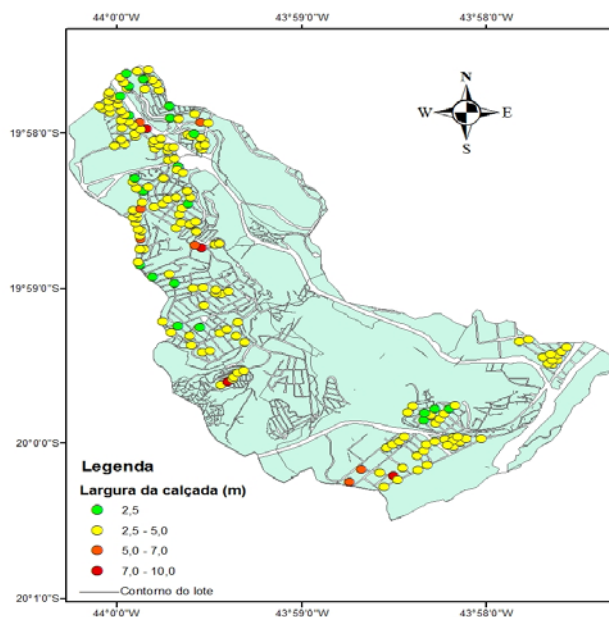


Figura 4 – Identificação dos pontos de intervenção

A técnica de jardins de chuva mostrou-se mais indicada as condições inerentes às regiões ocupadas da bacia, com larguras mínimas das calçadas satisfatórias, e geologia existente. Jardins de chuva devem, ainda, serem implantados em locais com declividades de até 10%, valor de referência, por se caracterizarem como infraestruturas de bioinfiltração e bioretenção, capaz de reduzir a velocidade de escoamento e armazenar pequenos volumes de água (DIETZ; CLAUSEN, 2006). Nas faixas de circulação das calçadas foi considerada a adoção de pavimento permeável, não havendo restrições quanto a sua utilização, haja vista a circulação apenas de pessoas, e condições semelhantes às dos jardins de chuva.

As áreas com possibilidade de implementação de jardins de chuva e pavimento permeável somaram 0,1686 km<sup>2</sup>, o que representa apenas 1,43% da área da bacia. A tabela 1 apresenta as áreas potenciais de implantação de jardins de chuva e pavimento permeável, em suas respectivas zonas urbanas. Observa-se que os valores se mostraram insatisfatórios, uma vez que nenhuma modificação foi observada quanto à redução do escoamento superficial, representado pelo hidrograma de cheia na modelagem correspondente.

Tabela 1 – Áreas de jardins de chuva e pavimento permeável e respectivas zonas urbanas de implantação

BACIA 1		
Zona	Jardim de chuva (km <sup>2</sup> )	Pavimento Permeável (km <sup>2</sup> )
ZE	0,00877	0,02613
ZAP	0,00231	0,00844
<b>TOTAL</b>	<b>0,01108</b>	<b>0,03457</b>

BACIA 2		
Zona	Jardim de chuva (km <sup>2</sup> )	Pavimento Permeável (km <sup>2</sup> )
ZEIS-3	0,000404	0,01347
ZAP	0,001017	0,01470
<b>TOTAL</b>	<b>0,001421</b>	<b>0,02817</b>

BACIA 3		
Zona	Jardim de chuva (km <sup>2</sup> )	Pavimento Permeável (km <sup>2</sup> )
ZE	0,00278	-
ZAP	0,00872	0,02909
ZEIS-3	-	0,00147
ZAR-2	-	0,00101
<b>TOTAL</b>	<b>0,01150</b>	<b>0,03157</b>

BACIA 4		
Zona	Jardim de chuva (km <sup>2</sup> )	Pavimento Permeável (km <sup>2</sup> )
ZE	-	0,008
ZAP	0,00620	0,02909
ZEIS-3	-	0,00147
ZAR-2	0,00452	0,00101
<b>TOTAL</b>	<b>0,01072</b>	<b>0,03957</b>

Os resultados das modelagens demonstraram a insuficiência na implantação de infraestruturas verdes somente de alcance público, (Fig. 5a; Fig. 5b), ficando clara a necessidade de se buscar a associação de medidas em nível de lote, de forma a garantir expressiva redução no escoamento de águas superficiais e sobrecarga do sistema de drenagem. Pode-se inferir como fatores causadores destes resultados, algumas características físicas e ocupacionais da bacia. Embora apenas 25,82% da bacia seja urbanizada, uma extensa área está sujeita à atividade minerária e compactação do solo pela presença de máquinas pesadas, não estando em boas condições de preservação, o que agrava as condições de infiltração de água no solo. As declividades altas, em maior proporção, aliada à urbanização não projetada e o arruamento com maior parte das calçadas com larguras inferiores ao padrão mínimo impossibilitaram a inserção de um número maior pontos executáveis de infraestruturas verdes.

A partir da inserção de técnicas compensatórias a nível de lote, que somaram 3,04 km<sup>2</sup> de área da bacia, de acordo com os resultados das modelagens, seria possível uma redução no pico de cheia da bacia do Bonsucesso de 41,531 m<sup>3</sup>/s para 28,994 m<sup>3</sup>/s, conforme figura 5c.

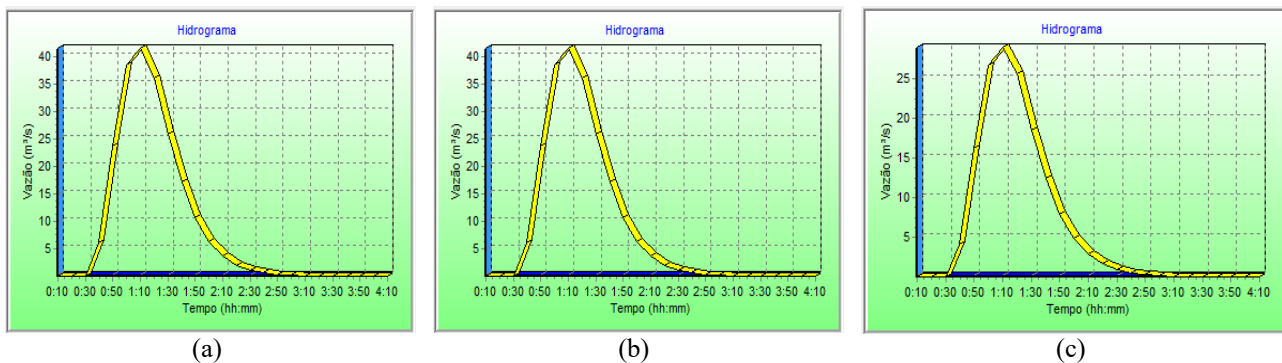


Figura 5 - Hidrogramas de vazão de cheia característicos para a Bacia do Córrego Bonsucesso simulando as condições reais (a), a implantação de jardins de chuva e pavimento permeável (b) e a implantação de técnicas a nível de lote (c).

## CONCLUSÃO

Embora sejam pequenas as áreas de implantação de jardins de chuva e insignificante a colaboração na redução de picos de cheias, outros benefícios podem ser notados na sua implantação nos meios urbanos. A evapotranspiração das plantas e a umidade do local, gerada pela própria vegetação presente, auxiliam no equilíbrio do microclima das cidades, diminuindo os efeitos de ilhas de calor característicos dos centros urbanos. Os jardins promovem a valorização paisagística e melhora da qualidade atmosférica pela purificação do ar durante o seu processo respiratório. Quanto à implantação de técnica a nível de lote, os valores de retenção de chuva por meio do aumento da área permeável no mesmo, são satisfatórios, uma vez que houve consistente colaboração na redução de picos de cheia e são também capazes de melhorar a qualidade do ambiente.

Portanto, urge salientar a importância da inserção de técnicas de drenagem sustentável em associação ao sistema de drenagem convencional com o objetivo de reduzir desastres hidrológicos nas grandes cidades urbanizadas e promover o equilíbrio da natureza de forma a propiciar um ambiente limpo e saudável.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Fundo de Incentivo à Pesquisa - FIP/ PUC Minas pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). *NBR 9050: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. ABNT Rio de Janeiro.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. (2011). *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. ABRH Porto Alegre- RS, 318 p.
- CRUZ, M. A. S. TUCCI C. E. M. (2008). Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 13, n. 3, Jul-Set. 2008, p. 59-71.
- DIETZ, M. E.; CLAUSEN, J. C. (2006). Saturation to Improve Pollutant Retention in a Rain Garden. *Environmental Science & Technology*, v. 40, n. 4, p. 1335-1340.
- FLETCHER, T. D. et al (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*. v. 12, issue 7, pp. 525-542.
- GOMES, I. (2015). Sistemas naturais em áreas urbanas: estudo da regional Barreiro, Belo Horizonte (MG). *Caminhos de geografia*. Nov. 2015 v.13, pp.139-150.
- MELO, T. A. et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 14, n. 4, Out-Dez. 2014. p. 147-165.
- MENDONÇA, F. B.; DINIZ, N. C.; BAPTISTA, G. M. M. (2011). Movimento Gravitacional de Massa Associado a um Trecho de Implantação de Trem de Alta Velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: Identificação de Depósito de Tálus por Meio de Imagens CBERS 2B e SRTM. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, pp.7478 – 7485.
- NUNES, A. A. (2015). Identificação de tendências para eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, Nov. 2015, pp. 1-8.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. (1995). Plano diretor de Belo Horizonte, lei de uso e ocupação do solo - estudos básicos. SMMA Belo Horizonte, 248 p.
- REIS, P. E. (2011). *O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas*. Belo Horizonte: UFMG. 148p. Dissertação de mestrado.