



Research, Society and Development
ISSN: 2525-3409
ISSN: 2525-3409
rsd.articles@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá
Brasil

Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica formada pelos cursos hídricos da região central do município de Itabira (MG)

Fernandes Alvarenga, Daiane; Barbosa Portilho, Douglas; Cordeiro, Juni; Alves Therezo, Paulo Eduardo; Cordeiro, José Luiz; Lage Alves Santiago, Grazielle

Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica formada pelos cursos hídricos da região central do município de Itabira (MG)

Research, Society and Development, vol. 8, núm. 4, 2019

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662195043>

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i4.875>




Este trabalho está sob uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica formada pelos cursos hídricos da região central do município de Itabira (MG)


Morphometric and hydrological characterization of the hydrographic basin formed by the water courses of the central region of the municipality of Itabira (MG)

Caracterización morfométrica e hidrológica de la cuenca hidrográfica formada por los cursos hídricos de la región central del municipio de Itabira (MG)

Daiane Fernandes Alvarenga daialvarenga15@gmail.com
Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil


 <http://orcid.org/0000-0002-1420-6806>

Douglas Barbosa Portilho db.portilho@gmail.com
Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil


 <http://orcid.org/0000-0002-0748-4381>

Juni Cordeiro juni.cordeiro@funcesi.br

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil


 <http://orcid.org/0000-0001-9371-8385>

Paulo Eduardo Alves Therezo paulo.therezo@funcesi.br
Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil


 <http://orcid.org/0000-0002-9463-2839>

José Luiz Cordeiro jluiiz.cordeiro@funcesi.br

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0002-3838-4666>

Graziele Lage Alves Santiago graziele.santiago@funcesi.br
Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

 <http://orcid.org/0000-0001-5271-3326>

Research, Society and Development, vol. 8, núm. 4, 2019

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Recepção: 27 Dezembro 2018

Revised: 26 Janeiro 2019

Aprovação: 26 Janeiro 2019

Publicado: 26 Fevereiro 2019

DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i4.875>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662195043>

Resumo: O processo de urbanização acarreta impactos hidrológicos e ambientais nos cursos hídricos, destacando-se a perda progressiva das potencialidades de seu uso, com consequências sobre a quantidade e a qualidade da água. Neste sentido este artigo objetivou a caracterização hidrológica e morfométrica da bacia hidrográfica formada pelos canais de drenagem das avenidas Carlos Drummond de Andrade, Carlos de Paula Andrade, Cristina Gazire e Prefeito Li Guerra, localizados na região central de Itabira (MG). Para tal, foi utilizada a pesquisa documental para análise do uso e ocupação do solo e realizados levantamentos em campo para identificação da geometria e vazão máxima dos canais. Com relação à análise morfométrica, o coeficiente de rugosidade e o índice de compacidade indicam que a bacia analisada é propensa a cheias. Verificou-se que a geometria dos canais varia de trapezoidal a seção mista (laterais com geometria retangular e leito triangular). Considerando a análise hidrológica, notou-se que a vazão máxima do canal da Avenida Prefeito Li Guerra, localizada na porção a jusante da bacia, não suporta a vazão de projeto obtida pelo método racional para um tempo de retorno de 50 anos. Assim, visando reduzir os impactos negativos relacionados às enchentes, sugere-se como

medidas compensatórias a manutenção de áreas verdes, a regulação do uso do solo, poços de infiltração, valas de infiltração e a utilização de pavimentos permeáveis.

Palavras-chave: Drenagem urbana, Enchentes, Medidas compensatórias, Uso e ocupação do solo.

Abstract: The urbanization process entails hydrological and environmental impacts on the water courses, highlighting the progressive loss of the potentials of its use, with consequences on the quantity and quality of water. In this sense, this article aimed at the hydrological and morphometric characterization of the hydrographic basin formed by the drainage channels of avenues Carlos Drummond de Andrade, Carlos de Paula Andrade, Cristina Gazire and Mayor Li Guerra, located in the central region of Itabira (MG). For this, the documentary research was used to analyze the use and occupation of the soil and field surveys were carried out to identify the geometry and maximum flow of the channels. Regarding the morphometric analysis, the roughness coefficient and the compactness index indicate that the analyzed basin is flood prone. It was verified that the geometry of the channels varies from trapezoidal to mixed section (lateral with rectangular geometry and triangular bed). Considering the hydrological analysis, it was noticed that the maximum flow of the channel of Avenue Mayor Li Guerra, located in the downstream portion of the basin, does not support the project flow obtained by the rational method for a 50-year return time. Thus, to reduce the negative impacts related to floods, it is suggested to compensate for the maintenance of green areas, regulation of soil use, infiltration wells, infiltration ditches and the use of permeable pavements.

Keywords: Urban drainage, Flood, Countervailing measures, Use and occupation of soil.

Resumen: El proceso de urbanización acarrea impactos hidrológicos y ambientales en los cursos hídricos, destacándose la pérdida progresiva de las potencialidades de su uso, con consecuencias sobre la cantidad y la calidad del agua. En este sentido este artículo objetivó la caracterización hidrológica y morfométrica de la cuenca hidrográfica formada por los canales de drenaje de las avenidas Carlos Drummond de Andrade, Carlos de Paula Andrade, Cristina Gazire y Alcalde Li Guerra, ubicados en la región central de Itabira (MG). Para ello, se utilizó la investigación documental para análisis del uso y ocupación del suelo y realizados levantamientos en campo para identificación de la geometría y caudal máximo de los canales. Con respecto al análisis morfométrico, el coeficiente de rugosidad y el índice de compacidad indican que la cuenca analizada es propensa a las inundaciones. Se verificó que la geometría de los canales varía de trapezoidal a la sección mixta (laterales con geometría rectangular y lecho triangular). En el análisis hidrológico, se observó que el caudal máximo del canal de la Avenida Alcalde Li Guerra, localizado en la porción aguas abajo de la cuenca, no soporta el caudal de proyecto obtenido por el método racional para un tiempo de retorno de 50 años. Así, para reducir los impactos negativos relacionados con las inundaciones, se sugiere como medidas compensatorias el mantenimiento de áreas verdes, la regulación del uso del suelo, pozos de infiltración, zanjas de infiltración y la utilización de pavimentos permeables.

Palabras clave: Drenaje urbano, Inundaciones, Medidas compensatórias, Uso y ocupación del suelo.

1. Introdução

Ao longo da história da humanidade as grandes civilizações se desenvolveram as margens dos rios, não apenas pela necessidade do insumo fundamental, mas também por questões culturais e estéticas. Entretanto, após esses momentos iniciais da história, quando os rios possibilitaram o desenvolvimento das cidades e, conseqüentemente a civilização, estes começaram a sofrer os impactos hidrológicos e ambientais decorrentes do crescimento urbano, perdendo de forma

gradativa o seu papel como elemento integrante da paisagem (Baptista & Cardoso, 2013).

O desenvolvimento das cidades e o crescimento da população deveriam ser seguidos pelo avanço da infraestrutura urbana, possibilitando aos habitantes uma condição mínima de vida. Dessa forma, o planejamento deste crescimento se mostra essencial para que sua influência sobre o meio ambiente não seja nociva aos habitantes (Mota, 1999).

As modificações causadas pelo uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, através da retirada de cobertura vegetal e adensamento urbano, podem provocar uma série de implicações no ciclo hidrológico da bacia (Tucci, 2007). Como modificações causadas pelo uso e a ocupação antrópica, Ibid (2007) destaca a redução da infiltração da água no solo; aumento do escoamento superficial; aumento do pico de vazão, devido ao rápido transporte da água das chuvas até o exutório da bacia; antecipação da ocorrência do pico de vazão e a redução do nível do lençol freático, devido à redução da infiltração. Desse modo, mostra-se importante a análise de parâmetros morfométricos, que consistem na análise quantitativa das relações existentes entre a fisiografia da bacia e a dinâmica hidrológica, para a avaliação do comportamento hidrológico de uma dada bacia, possibilitando a prevenção e o gerenciamento de alterações hidrológicas.

Dentre os principais fatores fisiográficos para análise do balanço hídrico em uma bacia hidrográfica, Justino *et al.* (2011) destacam a área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e a topografia, que influem diretamente no dimensionamento das obras hidráulicas, que correspondem às estruturas responsáveis pela redução das vazões máximas do escoamento superficial, atrasando sua propagação e aumentando a velocidade do escoamento.

Neste sentido, de acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2006), uma das estratégias utilizadas para se evitar enchentes nos centros urbanos era a retificação dos cursos hídricos, contudo, atualmente, as técnicas empregadas buscam inserir o curso d'água no contexto urbano.

A cidade de Itabira (MG) possui cursos d'água canalizados (seções abertas e fechadas) em sua área central, o que tem levado a episódios de cheia nestes canais. Assim, este artigo objetiva a análise hidrológica e morfométrica dos cursos d'água que compõe as avenidas Carlos Drummond de Andrade, Carlos de Paula Andrade, Cristina Gazire e Prefeito Li Guerra, localizados na região central do município.

2. Metodologia

Neste estudo a estratégia de pesquisa utilizada foi a quali-quantitativa. A pesquisa quantitativa é o método de pesquisa social que utiliza técnicas estatísticas, enquanto a pesquisa qualitativa é basicamente aquela que busca entender um fenômeno específico em profundidade (Botelho & Cruz, 2013). Neste trabalho, a pesquisa qualitativa foi empregada para a obtenção dos dados físicos da bacia hidrográfica por meio de técnicas

de geoprocessamento. Por sua vez, a pesquisa quantitativa foi utilizada para a definição dos parâmetros hidrológicos e morfométricos da bacia hidrográfica selecionada.

A amostra corresponde a uma pequena parte dos componentes do universo da pesquisa (Gil, 2002). Neste trabalho a amostra utilizada correspondeu aos canais de drenagem das avenidas Carlos Drummond Andrade, Cristina Gazire, Carlos de Paula Andrade e Prefeito Li Guerra, abrangendo os bairros Penha, parte central, Vila Piedade, Vila Santa Rosa, Vila Santa Matilde, Juca Rosa, Jardim Nossa Senhora das Oliveiras, Praia e Colina da Praia (Figura 1), na cidade de Itabira (MG). Destaca-se que estes trechos foram escolhidos por apresentarem canais e principais vias de acesso para o centro da cidade, além disso, representam local onde ocorreram enchentes nos últimos anos.

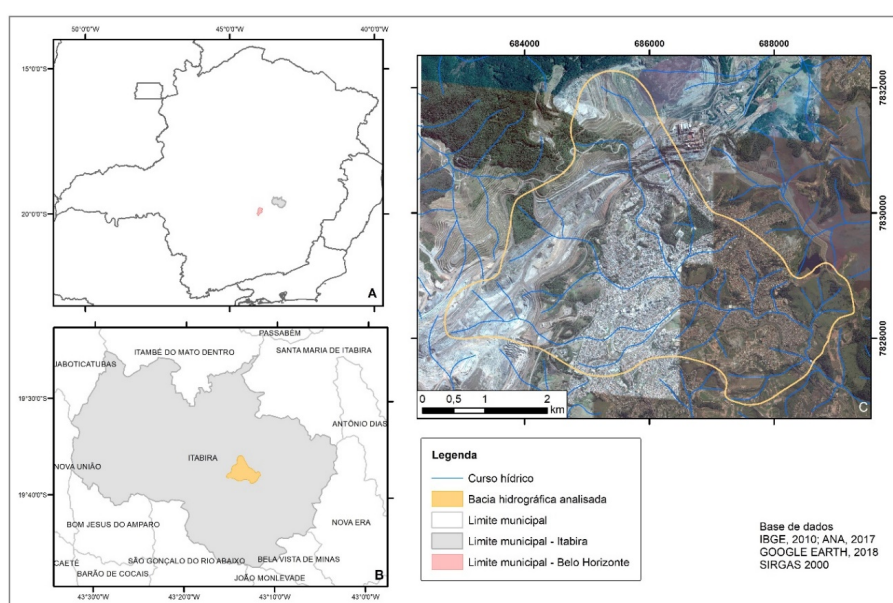


Figura 1 –
(A) Localização do município de Itabira no âmbito do Estado de Minas Gerais; (B) Localização da bacia hidrográfica no âmbito do município de Itabira (MG); (C) Detalhe, em imagem de satélite georreferenciada, da bacia hidrográfica analisada nesta pesquisa

Fonte: Modificado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010, Agência Nacional de Águas (ANA), 2017, Google Earth, 2018.

Nesta pesquisa, foram utilizadas para coleta dos dados a observação e a análise documental. Destaca-se que na pesquisa documental, de acordo com Marconi e Lakatos (2003), a fonte de coleta de dados corresponde a documentos, na forma escrita ou não, denominados fontes primárias, tais como documentos de arquivos privados, contratos, estatísticas (censos), fotografias, mapas e gráficos, dentre outros. Quanto aos documentos, foram utilizadas imagens de satélite obtidas no Google Earth e dados da Agência Nacional das Águas - ANA (2017) referentes ao uso e ocupação do solo no município de Itabira.

A observação é uma forma de obtenção de dados que se caracteriza especificamente pela percepção do observador, utilizando como ferramenta os órgãos dos sentidos para explorar uma determinada

realidade (Appolinário, 2009). Assim, a observação foi utilizada para a caracterização das geometrias dos canais analisados nesta pesquisa.

Os parâmetros geométricos do canal (altura e largura) foram obtidos por meio de medição utilizando uma trena a laser. Fez-se necessário esse trabalho uma vez que não foram obtidas informações documentais referentes aos projetos de retificação dos canais. Já para determinar a velocidade de escoamento ao longo dos canais foi estabelecida uma distância de 1 metro ao longo do curso d'água e medido o tempo necessário para que um objeto, um pedaço de madeira de 3 cm de comprimento e diâmetro de 1 cm, percorresse essa distância.

Os parâmetros morfométricos utilizados para a caracterização da bacia hidrográfica analisada nesta pesquisa correspondem à área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e densidade de drenagem, apresentados no Quadro 1

Quadro 1 -

Parâmetros morfométricos utilizados para a caracterização da bacia hidrográfica

Parâmetro	Característica	Equação
Área	Corresponde à toda área drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal	
Perímetro	Comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas	
Fator de forma	Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão)	$F = \frac{A}{L^2}$ <p><i>F = Fator de forma</i> <i>A = Área de drenagem</i> <i>L = Comprimento do eixo da bacia</i></p>
Coeficiente de compacidade	Relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia	$Kc = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}}$ <p><i>Kc = Coeficiente de Compacidade</i> <i>P = Perímetro</i> <i>A = Área de drenagem</i></p>
Índice de circularidade	O índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (Teodoro <i>et al.</i> , 2007)	$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2}$ <p><i>IC = Índice de circularidade</i> <i>P = Perímetro</i> <i>A = Área de drenagem</i></p>
Parâmetro	Característica	Equação
Densidade de drenagem	Correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Para calcular o comprimento devem ser medidos tanto os rios perenes como os temporários	$Dd = \frac{L}{A}$ <p><i>Dd = densidade de drenagem</i> <i>L = comprimento dos canais</i> <i>A = área de drenagem</i></p>

Fonte: Silva, 2015.

Para análise hidrológica adequada de uma determinada bacia hidrográfica devem ser avaliados aos parâmetros hidrológicos, tais como o tempo de concentração e o coeficiente de escoamento superficial; assim como a vazão do canal, obtida pela fórmula de Manning, indicados no Quadro 2.

Quadro 2 -
Parâmetros utilizados para caracterização hidrológica da bacia hidrográfica

Modelos Chuva x Deflúvio		
Parâmetro	Definição	Equação
Tempo de Concentração		
É o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante da bacia, deslocar-se até a seção principal (Tucci, 2009)		
Fórmula de Kirpich	Utilizada para pequenas bacias-até 50 hectares e para terrenos com declividade de 3 a 10%. Quando o valor de L for superior a 10.000 m a fórmula de Kirpich subestima o valor de t_c .	$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$ t_c =tempo de concentração (min) ΔH = declividade (m/m)
Escoamento Superficial		
Coefficiente de escoamento superficial (run off)	Representa a relação entre o volume escoado sobre a superfície do terreno e o volume total precipitado (Pruski <i>et al.</i> , 2004). Ressalta-se que em situações nas quais há variabilidade de classes de uso e ocupação do solo, este coeficiente deve corresponder à média ponderada	$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$ C = coeficiente escoamento pela média ponderada
Escoamento pelo Método Racional		
Método Racional	Estima-se vazão máxima de escoamento em pequenas bacias urbanas, onde a área impermeável é grande (para as quais C aproxima-se de 1)	$Q = 0,27 \cdot C \cdot i \cdot A$ Q = vazão máxima (m^3/s); 0,27 = correção quando usando a área da bacia em km^2 ; C : coeficiente de escoamento; i : intensidade da precipitação (mm/h); A : área da bacia (km^2).
Intensidade de Chuva	Intensidade máxima média da chuva observada para uma duração correspondente ao tempo de concentração e para o período de retorno T	$I = \frac{K \times T^a}{(d + b)^c}$ T = tempo de retorno (anos) K, a, b e c : parâmetros ajustados para Itabira (MG) t = duração da chuva (min)
Fórmula de Manning	Utilizada para cálculos hidráulicos relativos a canais naturais e artificiais (Baptista & Lara 2010).	$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} I^{1/2}$ Q =Vazão (m^3/s) R_h =Raio hidráulico (m) I =Declividade (m/m) n = Coeficiente de rugosidade Manning

Fonte: Tucci, 2009; Baptista & Lara, 2010; Silva, 2015.

Destaca-se que os parâmetros necessários para a determinação da intensidade da chuva foram fornecidos pelo *software* Plúvio 2.1, desenvolvido pelo grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa – UFV (2006), correspondendo a um *software* de livre utilização criado para o cálculo de chuvas. Os resultados assim obtidos para a cidade de Itabira (MG) correspondem a $K = 1543,634$; $a = 0,181$; $b = 19,742$ e $c = 0,808$. Além disso, para a análise da vazão gerada por escoamento superficial na bacia hidrográfica foram utilizados diferentes tempos de retorno, correspondendo a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Por sua vez, o escoamento superficial foi calculado para esses mesmos períodos de retorno, sendo utilizados dois cenários considerando diferentes formas de uso e ocupação do solo. O cenário 1 reflete o uso e ocupação do solo atuais da bacia hidrográfica, enquanto o cenário 2 é caracterizado pela presença de vegetação de alto porte substituindo as regiões correspondentes às áreas abertas, vegetação de baixo porte e pastagens.

Salienta-se que para o desenvolvimento deste estudo foram ainda utilizados os *softwares* ArcGIS versão 10.2.2 e SisCCoH 1.0. O ArcGIS versão 10 foi desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), correspondendo a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite criar e manipular mapas e trabalhar com dados espaciais utilizando um sistema de coordenadas georreferenciadas. Dessa forma, com a utilização deste *software* foi possível delimitar a bacia hidrográfica, extraindo suas características físicas, tais como área, perímetro, elevação máxima, comprimento do córrego principal, dos tributários e do talvegue.

O *software* SisCCoH (Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos) foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (2014) em parceria com a Pimenta de Ávila Consultoria Ltda. e permite a realização de cálculos de engenharia hidráulica. A adoção deste *software* no estudo permitiu a verificação do dimensionamento hidráulico dos canais.

3. Resultados e discussão

De acordo com informações obtidas com moradores locais, as obras relacionadas à retificação e canalização dos cursos hídricos da região central de Itabira, iniciadas na década de 1970, seriam solução para as enchentes e doenças de veiculação hídrica que acometiam os residentes próximos a estes. Segundo a Prefeitura Municipal de Itabira (1999), a retificação das avenidas Cristina Gazire (Figura 2) e Prefeito Li Guerra, ocorridas entre as décadas de 1990 e 2000, trariam o fim das infecções e doenças parasitológicas frequentes nos moradores do bairro Praia e adjacências, causadas pelo esgoto a céu aberto.

A inexistência de uma drenagem adequada para as água pluviais e o lançamento de esgoto nos cursos hídricos podem desencadear doenças à população. Destaca-se que, de maneira geral, o controle acerca da presença de organismos em águas pode ser feito de forma preventiva, relacionado à adoção de medidas que visam a impedir o lançamento de esgotos não tratados em cursos d'água; ou corretiva, associado principalmente à utilização de produtos químicos e obras de drenagem para o controle de doenças (Ministério da Saúde, 2006).



Figura 2 -

Canal de drenagem da Avenida Cristina Gazire: (A) em leito natural no ano de 1998, (B) em obras de retificação no ano de 1998, (C) atualmente e (D) detalhe do uso do solo na região

Fonte: (A e B) Prefeitura Municipal de Itabira, 1999; (C e D) Acervo dos autores, 2018.

Com relação às características da região formada pelos canais analisados nesta pesquisa, destaca-se que a topografia é composta por vales encaixados. Na Avenida Carlos de Paula Andrade, a encosta é mais íngreme quando comparada às avenidas Cristina Gazire e Li Guerra. Ao longo da Avenida Carlos Drummond de Andrade (Figura 3) está localizado o Parque Municipal Mata do Intelecto, coberto por fragmento de Mata Atlântica.



Figura 3 -

Imagem panorâmica da Avenida Carlos Drummond de Andrade, notar área urbanizada na margem direita do canal e na margem esquerda, o Parque Municipal Mata do Intelecto, Itabira (MG)

Fonte: Dados da pesquisa.

Os canais que compõem as avenidas Cristina Gazire e Carlos de Paula Andrade possuem, na margem esquerda, encosta formada predominantemente por vegetação rasteira, contendo árvores esparsas.

Já na Avenida Prefeito Li Guerra, verifica-se que o vale é aberto, formando uma planície simétrica, havendo na sua margem esquerda áreas caracterizadas por vegetação rasteira, contendo também várias empresas de pequeno e médio porte, além de um condomínio residencial. Destaca-se que a margem direita do canal que compõe a Avenida Prefeito Li Guerra é predominantemente urbanizada.

A urbanização modifica as características naturais de uma bacia hidrográfica, dessa forma, na ausência de um planejamento urbano, é inevitável o surgimento de diversos problemas para a população. Dentre as modificações causadas pelo uso e a ocupação do solo podem ser destacadas a redução da infiltração da água no solo, tendo como consequências o aumento do escoamento superficial e a redução do nível do lençol freático, e o aumento do pico de vazão (Tucci, 2007).

Dessa forma, a definição dos parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica corresponde a um dos principais procedimentos realizados em análises ambientais ou hidrológicas, visando a compreensão da dinâmica ambiental (Teodoro *et al.*, 2007).

Assim, considerando a bacia hidrográfica analisada nesta pesquisa, suas características físicas como área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade e densidade de drenagem, necessárias para análise dos parâmetros morfométricos apresentados no Quadro 3, foram obtidas por meio do *software* ArcGIS versão 10.2.2 e análise de imagens de satélite obtidas no Google Earth referentes ao ano de 2018.

Quadro 3 -
Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica localizada na área central de Itabira (MG), analisada nesta pesquisa

Parâmetros	Resultados
Área (km ²)	16,94
Perímetro (km)	19,56
Fator de forma	0,33
Coeficiente de compacidade	1,33
Índice de circularidade	0,56
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,11
Comprimento do talvegue (km)	7,13
Comprimento total da Drenagem (km)	35,77

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Destaca-se que a área referente à bacia hidrográfica totaliza 16,94 km², o perímetro corresponde a 19,56 km; o talvegue principal possui comprimento de 7,13 km; enquanto o comprimento total dos canais totaliza 35,77 km.

O fator de forma é um índice indicativo de tendência para enchentes em uma bacia hidrográfica, assim, uma bacia caracterizada por um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes do que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (Soares, 2015). Nota-se, portanto, que

a bacia hidrográfica em estudo não é propensa a enchentes uma vez que o fator de forma, correspondendo a 0,33, pode ser considerado baixo.

O coeficiente de compacidade varia com a forma da bacia, assim, quanto mais irregular, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo corresponde à unidade e representa uma bacia circular, possuindo desta forma maior tendência para enchentes (Ibid, 2015). Destaca-se que, na bacia hidrográfica analisada, o índice está próximo da unidade (correspondendo a 1,33), sendo, desse modo, propensa a enchentes.

De acordo com Christofletti (1974), o índice de circularidade apresenta valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo da unidade, mais próxima da forma circular será a bacia, sendo também mais propensa ao desenvolvimento de cheias. Assim, valores maiores que 0,51 indicam que a bacia favorece os processos de inundação, enquanto valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (Schumm, 1956). Verifica-se que a bacia hidrográfica analisada nesta pesquisa é mais propensa a cheias, uma vez que o índice calculado corresponde a 0,56.

Com relação à densidade de drenagem, esta pode ser classificada como muito baixa para valores menores que $0,50 \text{ km/km}^2$, mediana entre $0,50$ e $2,00 \text{ km/km}^2$, alta entre $2,01$ e $3,50 \text{ km/km}^2$ e muito alta para valores acima de $3,50 \text{ km/km}^2$ (Christofletti, 1974). Além disso, de acordo com Ibid (1980), este parâmetro é relevante na análise de bacias hidrográficas uma vez que quanto maior o valor numérico da densidade de drenagem, menores serão os tamanhos dos componentes fluviais das bacias de drenagem. Assim, nota-se que a bacia hidrográfica estudada é caracterizada por uma densidade de drenagem alta, uma vez que o valor obtido foi de $2,11 \text{ km/km}^2$.

Avaliando os resultados obtidos com relação aos parâmetros morfométricos, pode-se salientar que a bacia hidrográfica analisada é naturalmente propensa a enchentes, visto que a forma da bacia é mais circular do que alongada.

3.1. Parâmetros hidrológicos

De acordo com Silva (2015), há diversos critérios e parâmetros adotados para o dimensionamento de uma rede de águas pluviais, envolvendo grandezas referentes à intensidade de chuva, tempo de concentração, velocidade, tipo de escoamento considerado no cálculo, dentre outros.

Sabendo-se que os parâmetros hidrológicos compreendem fundamentalmente as características hidrológicas e geomorfométricas da bacia hidrográfica, tais como as condições de impermeabilização, precipitações, bem como o tempo de concentração, o Quadro 4 exhibe os valores referentes às intensidades de chuva, considerando diferentes tempos de retorno, e o tempo de concentração da bacia hidrográfica formada pelos canais das avenidas Carlos Drummond de Andrade, Carlos de Paula Andrade, Cristina Gazire e Prefeito Li Guerra.

Quadro 4 -

Parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica analisada nesta pesquisa, localizada na região central de Itabira (MG), considerando diferentes tempos de retorno (TR)

Parâmetros	Resultados	
	TR (anos)	I (mm/h)
Intensidade de chuva (mm/h)	2	45,01
	5	53,13
	10	60,23
	25	71,09
	50	80,6
	100	91,37
Tempo de concentração (min)	73,05	

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Considerando os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, e uma duração da chuva equivalente ao tempo de concentração, pode-se observar que o aumento do tempo de retorno leva ao aumento da intensidade de chuva, correspondendo a uma variação de mais de 100% desta quando comparadas as intensidades de 2 e 100 anos de tempo de retorno (Quadro 4).

De maneira geral, obras de microdrenagens como aquelas formadas pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais, assim como canais de pequenas dimensões, são dimensionadas para o escoamento de águas pluviais considerando um tempo de retorno de até 10 anos. Já a macrodrenagem é composta por estruturas de maiores dimensões, sendo projetada para cheias cujo tempo de retorno se situa próximo de 100 anos (São Paulo, 2012). Entretanto, Tucci (2009) salienta que estudos econômicos podem orientar a escolha do período de retorno, pois quanto maior esse tempo, maiores serão o porte e o custo das obras.

Nota-se assim que o planejamento adequado do sistema de macrodrenagem é essencial para o plano de desenvolvimento urbano. Em áreas já urbanizadas, o mau funcionamento desse sistema é a causa mais frequente de inundações e do alto custo associado às galerias de águas pluviais. Além disso, nas situações nas quais não há planejamento desse sistema, o escoamento das cheias ocorre de forma desordenada nas depressões topográficas e canais naturais, podendo colocar em risco propriedades e vidas humanas (São Paulo, 2012).

De um volume precipitado sobre uma bacia hidrográfica, somente uma parcela alcança a seção de vazão na forma de escoamento superficial, sendo que a relação entre o resíduo do volume precipitado e o volume escoado é denominado coeficiente de escoamento (Pinto et al., 1978). Ainda de acordo com esses autores, o coeficiente de escoamento está associado à diversos fatores, tais como a distribuição da chuva na bacia hidrográfica, das condições de umidade do solo no início da precipitação, do tipo de solo e das formas de uso e ocupação deste.

Dessa forma, a Tabela 1 apresenta os usos do solo predominantes na bacia estudada nesta pesquisa, correspondendo a área urbana média (28,77%), área de mineração (27,27%) e pastagem (11,12%), os quais perfazem 67,26% da área da bacia. Por outro lado, a porcentagem de áreas verdes corresponde a 8,12% e as áreas impermeáveis abrangendo logradouros, rodovias, áreas de mineração e áreas industriais, totalizam 36,04% da bacia.

Uma vez que há diferentes formas de uso do solo na bacia analisada, para determinação do coeficiente de escoamento, utilizou-se o valor referente ao escoamento superficial ponderado, obtido para cada tempo de retorno utilizado nesta pesquisa.

Tabela 1 -
Área (m²) e porcentagem (%) das classes de uso e ocupação do solo na bacia estudada, localizada na região central de Itabira (MG)

Uso e ocupação do solo	Área (m ²)	Porcentagem (%)
Edificação rural	2.096,80	0,01
Rodovias	17.480,68	0,1
Vegetação de baixo porte	16.484,21	0,1
Água	22.377,04	0,13
Áreas abertas (úmidas + secas)	31.592,26	0,19
Suburbana (condição pobre)	48.980,78	0,29
Área urbana baixa	135.858,85	0,8
Áreas industriais	393.478,90	2,32
Vegetação de alto porte	591.913,81	3,49
Vegetação de médio porte	768.218,44	4,53
Área urbana arborizada	822.831,33	4,86
Logradouro	1.059.804,65	6,25
Área urbana aberta	1.636.111,87	9,66
Pastagem	1.884.490,33	11,12
Áreas de mineração	4.636.647,76	27,37
Área urbana média	4.875.116,60	28,77
Total	16.943.484,31	100

Fonte: Modificado de ANA, 2017.

O Quadro 5 apresenta os valores associados ao coeficiente de escoamento superficial considerando as características atuais do uso do solo (Cenário 1) e uma simulação (Cenário 2), caracterizada pela substituição das classes de uso do solo referentes à vegetação de áreas abertas úmidas + secas (0,19%), pastagem (11,12%) e vegetação de baixo porte (0,10%) por vegetação de alto porte. Faz-se importante ressaltar que essa substituição não foi suficiente para alterar de modo significativo o coeficiente de escoamento superficial na bacia hidrográfica.

Assim, observa-se que para 2 anos de tempo de retorno, o coeficiente de escoamento corresponde a 0,47 para os dois cenários e para um tempo de retorno de 100 anos, o coeficiente de escoamento obtido corresponde 0,66 em ambos cenários.

De acordo com Collischonn & Dornelles (2013), uma das principais preocupações envolvendo o impacto da alteração da vegetação está

relacionada ao possível aumento da magnitude das cheias vinculadas ao desmatamento. A maioria dos experimentos realizados em bacias pareadas indica que o desmatamento resulta em um aumento das vazões máximas, contudo, em bacias reflorestadas não se verificou uma redução significativa destas (Andréassian, 2004 *apud* Collischonn & Dornelles, 2013).

Quadro 5 -
Escoamento superficial ponderado (C), considerando os cenários 1 e 2, e vazão obtidos para diferentes tempos de retorno (TR)

	TR (Anos)	Cenário 1	Cenário 2
Escoamento Superficial Ponderado (C)	2	0,47	0,47
	5	0,51	0,52
	10	0,54	0,54
	25	0,58	0,58
	50	0,61	0,62
	100	0,66	0,66
	T (Anos)	Q (m³/s)	
Vazão (m³/s)	2	125,06	
	5	147,62	
	10	167,35	
	25	197,52	
	50	223,95	
	100	253,87	

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

A vazão, calculada pelo método racional estima o escoamento máximo em pequenas bacias urbanas, onde a área impermeável é grande (para as quais C aproxima-se da unidade) (Tucci, 2009). Assim, é possível observar no Quadro 5 que, considerando um tempo de retorno de 2 anos foi obtida uma vazão de projeto de 125,06 m³/s, enquanto para um TR de 100 anos obteve-se uma vazão de projeto de 253,87 m³/s.

Salienta-se que o método racional não deveria ser aplicado em áreas superiores a 500 ha, pois, torna-se irreal a condição de regime permanente e a intensidade de chuva constante, entretanto, Pruski *et al.* (2004) argumentam que devido a simplicidade e facilidade, este método tem o seu uso difundido em bacias com área superior a 500 ha.

Existem outros métodos que poderiam ser utilizados para determinação do volume de escoamento superficial entre os quais se destaca o desenvolvido pelo *National Resources Conservation Center* dos Estados Unidos, conhecido como SCS-CN, que se baseia nas características do solo e da ocupação da bacia (Collishonn & Dornelles, 2013).

3.2 Caracterização geométrica dos canais

Com relação à caracterização geométrica dos canais, Baptista e Lara (2010) salientam que através da geometria da seção e da profundidade

de escoamento de canais de drenagem, pode-se definir os parâmetros necessários aos cálculos hidráulicos, tais como vazão, velocidade do escoamento e área da seção do canal.

Para a caracterização hidráulica dos canais os trechos analisados foram subdivididos em quatro segmentos dada a geometria distinta destes. Deste modo, verifica-se que a geometria varia de trapezoidal nos canais das avenidas Carlos Drummond Andrade e Carlos de Paula Andrade a uma seção mista (laterais com geometria retangular e leito triangular) ao longo dos canais das avenidas Cristina Gazire e Prefeito Li Guerra (Quadro 6).

Os resultados obtidos em campo mostram uma velocidade de escoamento lenta nos canais estudados, exceto naquele correspondente à Avenida Cristina Gazire (Quadro 7). Entretanto, a velocidade lenta de um canal de drenagem não é favorável, pois pode ocorrer a deposição de sedimentos. Essa sedimentação corresponde ao processo de deposição de partículas no fundo do canal e sua compactação devido ao peso próprio destas, causando um tempo de concentração maior da precipitação na bacia, gerando assim enchentes a montante do local onde a velocidade de escoamento é menor (Baptista & Lara, 2010).

Quadro 6:

Dados de entrada do programa SisCCoH 1.0 para o cálculo da vazão dos canais da bacia hidrográfica

Canal (avenida)	Geometria do canal	Profundidade (m)	Largura superior (m)	Largura inferior (m)	Inclinação lateral (m)
Carlos Drummond de Andrade	Trapezoidal	2,60	4,88	1,00	0,585
Carlos de Paula Andrade	Trapezoidal	3,15	7,17	1,51	0,78
Cristina Gazire	Retangular mista	2,72	6,95	6,95	-
Prefeito Li Guerra	Retangular mista	3,44	6,97	6,97	-

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Destaca-se que a velocidade de escoamento verificada ao longo do canal da Avenida Cristina Gazire (Quadro 7) pode estar associada ao fato desta seção receber vários tributários. Contudo, faz-se importante ressaltar que uma velocidade muito alta de escoamento pode desencadear problemas hidráulicos que levam à erosão do canal de drenagem (Baptista & Lara, 2010).

A fórmula de Manning, utilizada para cálculos hidráulicos relativos a canais naturais e artificiais, exige a estimativa do coeficiente de rugosidade, que depende dos materiais e situações de utilização (Ibidem, 2010). No caso dos canais de drenagem apresentados no Quadro 7, o revestimento utilizado corresponde ao concreto sem acabamento, assim, foi utilizado o valor de 0,017, correspondendo à rugosidade usualmente empregada.

Quadro 7 -
Caracterização geométrica dos canais de drenagem, localizados na região central de Itabira (MG), analisados nesta pesquisa

Canal (avenida)	Vazão máxima (m³/s)	Vazão em trânsito (m³/s)	Velocidade em trânsito (m/s)	Revestimento
Carlos Drummond de Andrade	37	7,79	0,82	Concreto sem acabamento
Carlos de Paula Andrade	88,25	6,22	0,34	Concreto sem acabamento
Cristina Gazire	147,4	27,93	10,47	Concreto sem acabamento
Prefeito Li Guerra	203,3	18,11	0,90	Concreto sem acabamento

Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Desse modo, para o cálculo da vazão máxima dos canais da bacia em estudo, foi utilizado o programa SisCCoH 1.0, considerando, além dos dados geométricos apresentados no Quadro 6, a declividade de 1% para todos os canais, valor este obtido por meio das imagens de satélite e dados de altitude obtidos no Google Earth.

Observa-se no Quadro 7 que a vazão máxima do canal da Avenida Carlos Drummond de Andrade é 37m³/s, correspondendo ao canal de menor vazão, enquanto o canal da Avenida Prefeito Li Guerra possui maior vazão máxima, totalizando 203,3m³/s. Verifica-se assim que a vazão máxima da Avenida Prefeito Li Guerra, trecho situado no exutório da bacia hidrográfica, não suporta a vazão de projeto da bacia hidrográfica obtida para os tempos de retorno de 50 anos (223,95 m³/s) e, conseqüentemente, de 100 anos (253,87m³/s).

Dessa forma, salienta-se a importância da adoção de medidas compensatórias, buscando combinações de soluções que possibilitem a infiltração de águas pluviais e o armazenamento da água reduzindo a vazão de pico e o escoamento superficial.

3.3 Medidas compensatórias

Os canais analisados nesta pesquisa compõem um sistema estrutural cuja finalidade seria propiciar o transporte dos deflúvios gerados na bacia. Ressalta-se que para a realização de modificações na geometria deste sistema mostra-se fundamental um estudo técnico, buscando alternativas eficazes com menor custo. Contudo, uma alternativa que poderia ser considerada, refere-se à integração de medidas compensatórias estruturais e não-estruturais nos sistemas, tendo como finalidade reduzir os impactos provocados pela urbanização.

De maneira geral, as medidas estruturais são aquelas nas quais o homem modifica o sistema fluvial, abstendo-se dos prejuízos decorrentes das enchentes, ocorrendo a implantação de correções deste por meio de obras hidráulicas, entre outras (Barbosa, 2006). Verifica-se, desta forma, que as medidas estruturais são físicas, desenvolvidas para reduzir o risco de enchentes (Canholi, 2009). Por sua vez, as medidas não estruturais são aquelas que propõem a redução dos danos e consequências das inundações. Os prejuízos são contidos não por meio de obras, mas através de medidas preventivas, tais como sistema de alerta, zoneamento das áreas de inundação, conscientização da população, entre outros (Tucci, 2007).

Dentre as medidas estruturais que poderiam ser empregadas na bacia analisada nesta pesquisa sugere-se a implantação de poços de infiltração; pavimentos permeáveis, valas de infiltração e trincheiras de infiltração (Quadro 8), os quais apresentam como principais vantagens os custos reduzidos e a adequação a pequenas áreas.

Quadro 8 -

Características das medidas de controle de inundação mais utilizadas no Brasil

	Vantagem	Desvantagem
Poços de infiltração	A infiltração possibilita uma redução do volume de escoamento superficial, aliviando o sistema de drenagem a jusante. Integração com o meio ambiente urbano, pois ocupa pequenos espaços e é bastante discreto. Boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis e camadas profundas com grande capacidade de infiltração. Possibilidade de recarga do lençol freático e melhoria na qualidade da água.	Restrição de eficiência em áreas com declividades acentuadas, não havendo, entretanto, o impedimento do emprego nessas áreas. Necessidade de manutenção periódica para o controle da colmatação. Risco de contaminação das áreas subterrâneas. Baixa capacidade de armazenamento.
Trincheiras de infiltração e detenção	A infiltração possibilita uma redução do volume de escoamento superficial, aliviando o sistema de drenagem a jusante. A detenção temporária proporciona um rearranjo temporal nos hidrogramas. Criação de áreas permeáveis quando a estrutura é implantada em calçadas ou outras áreas impermeáveis. Valorização do espaço urbano, destacando-se a pequena demanda por espaço desse tipo de estrutura. Possibilidade de recarga do lençol freático e melhoria na qualidade da água.	Necessidade de manutenção periódica para o controle da colmatação. Restrições de eficiência em áreas com declividades acentuadas não havendo, entretanto, o impedimento do emprego nessas áreas. Risco de contaminação nas águas subterrâneas no caso de trincheiras de infiltração.

	Vantagem	Desvantagem
Pavimentos Permeáveis	Detenção temporária das águas proporcionando um rearranjo temporal dos hidrogramas Possibilidade de recargas das águas subterrâneas, além da melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do movimento Melhoria na segurança e conforto pela redução da formação de poças de água e consequente melhoria da aderência no viário Possibilidade de redução ou eliminação dos custos de implantação do sistema de drenagem tradicional Não requerem espaços específicos para implantação	Possibilidade de colmatção do pavimento Risco de contaminação das águas subterrâneas, nas estruturas infiltrantes Necessidade de mão de obra especializada para a construção do pavimento Necessidade de manutenção periódica para evitar o entupimento ou colmatção dos poros das camadas permeáveis Risco de colmatção da estrutura os reparos apresentam custos elevados
Valas Vegetadas	Redução dos volumes do escoamento superficial pelos processos de evapotranspiração e infiltração Detenção temporária das águas, propiciando um rearranjo temporal dos hidrogramas Baixos custos de proteção e construção Valorização do espaço urbano contribuindo para o aumento das áreas verdes Melhoria da qualidade das águas pluviais e possibilidade de recarga do aquífero	Restrições de eficiência em áreas com declividades acentuadas, a declividade máxima deve ser de até 2% Necessidade de espaço para implantação Risco de contaminação das águas subterrâneas. É recomendado manter uma distância vertical de no mínimo um metro da zona saturada Possibilidade de estagnação das águas e proliferação de vetores e mau cheiro

Fonte: Canholi, 2014.

Considerando as vantagens associadas às técnicas compensatórias estruturais indicadas, podem ser ressaltadas a redução do volume de escoamento superficial, baixo custo de proteção e construção e a possibilidade de recarga do aquífero. Entretanto, faz-se necessária a adoção de soluções para minimizar os efeitos negativos, como o risco de contaminação das águas subterrâneas, necessidade de manutenção periódica para o controle da colmatção, entre outras (Barbosa, 2008).

Destaca-se que para que as medidas compensatórias resultem em efeitos positivos, mostra-se fundamental a sensibilização da população acerca dos problemas relacionados à urbanização, assim como da participação ativa destes envolvendo o controle e fiscalização dos usos e ocupação do solo.

4. Conclusão

As grandes civilizações se desenvolveram nas margens dos rios, não apenas pela necessidade do insumo fundamental, mas também por questões culturais e estéticas, provocando significativas modificações no uso e ocupação do solo, além de enchentes.

Assim, este trabalho objetivou a caracterização sob as perspectivas morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica formada pelos cursos d'água que compõe as avenidas Carlos Drummond de Andrade, Carlos de Paula Andrade, Cristina Gazire e Prefeito Li Guerra, localizadas no município de Itabira (MG).

Dentre as limitações dessa pesquisa, ressalta-se a ausência de dados referentes aos projetos de retificação dos canais analisados, os quais permitiriam a obtenção de dados acurados acerca dos parâmetros geométricos e hidráulicos destes.

Assim, considerando os resultados obtidos quanto aos parâmetros morfométricos, nota-se alta densidade de drenagem e alto coeficiente de compacidade, indicando que a bacia hidrográfica analisada é menos propensa a enchentes. Entretanto, o fator de forma e o índice de circularidade alto, sugerem maior propensão às enchentes.

A partir da análise das características dos canais pode-se observar uma geometria trapezoidal nas avenidas Carlos Drummond de Andrade e Carlos de Paula Andrade, com revestimento em concreto sem acabamento. Já nas avenidas Cristina Gazire e Prefeito Li Guerra a forma dos canais é mista, com laterais retangulares e leito triangular, com revestimento também em concreto sem acabamento.

Considerando o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, em sua maior parte, esta é caracterizada por alterações antrópicas consolidadas como loteamentos e construções, as quais influenciam diretamente no escoamento superficial. Diante disso buscou-se a simulação da vazão de projeto considerando dois cenários: o primeiro representando o uso e ocupação atual da bacia, e o cenário 2 caracterizado pela substituição de áreas ainda não consolidadas por vegetações de grande porte. Entretanto, notou-se que o reflorestamento não foi suficiente para alterar o volume do escoamento superficial.

Assim, verificou-se que a vazão máxima do canal da Avenida Prefeito Li Guerra, que é limitante para toda a bacia quando da ocorrência de um evento de tal magnitude, é superada pela vazão de projeto com tempo de retorno de 50 anos. Diante disso, recomenda-se a utilização de medidas compensatórias não-estruturais e estruturais, como, por exemplo a manutenção de áreas verdes e a regulação do uso do solo, poços de infiltração ou reservatório de retenção/detenção; pavimentos permeáveis e valas de infiltração.

Por fim, ressalta-se a importância acerca da realização de estudos hidráulicos mais detalhados, uma vez que o método racional não é apropriado para grandes bacias, podendo superestimar os resultados obtidos. Além disso, recomenda-se a análise quanto ao dimensionamento das técnicas compensatórias e o impacto desencadeado por estas na redução do volume escoado.

Referências

- ANA. (2017). *Metadados Bacia Rio Doce*. Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>;.
- Appolinário, F. (2009). *Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico*. São Paulo. Editora Atlas.
- Baptista, M. & Cardoso, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. *Rev. UFMG*, Belo Horizonte, 20(2):124-153.
- Baptista, M. B.; Lara, M. (2010). *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. 3.ed. rev. e ampl. Belo Horizonte. Editora UFMG.
- Barbosa, F. A. R. (2006). *Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB*. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba. Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia/ Programa de pós-graduação em Engenharia Urbana. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_francis_cobarbosa.pdf>;.
- Botelho, J. M. & Cruz, V. A. G. (2013). *Metodologia Científica*. São Paulo. Editora Pearson.
- Canholi, A. P. (2014). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. 2.ed. São Paulo. Editora Oficina de Textos.
- Christofolletti, A. (1974). *Geomorfologia*. São Paulo. Editora Blücher.
- Christofolletti, A. (1980). *Geomorfologia*. São Paulo. Editora Blücher.
- Collischonn, W.; Dornelles, F. (2013). *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. Porto Alegre. Editora ABRH.
- FEAM. (2006). *Orientações Básicas para drenagem urbana*. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Belo Horizonte.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ed. São Paulo. Editora Atlas.
- Google. (2017). *Google Earth*. Versão 7.1.5.1557. 2017. Nota (Município de Itabira - MG). Disponível em: <<http://www.google.com/earth/download/ge/agree.html>>;.
- IBGE. (2010). *Carta Internacional ao Milionésimo*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/servicos/wms-do-arcgis>>;.
- Justino, E. A.; Paula, H. M. & PAIVA, E. C. R. (2011). Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. *Espaço em Revista*. 13(2):16-38. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/download/16884/10333>>;.
- Marconi, M. A. & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. 5ed. São Paulo. Editora Atlas.
- Ministério da Saúde. (2006). *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília. Ministério da Saúde do Brasil.
- Mota, S. (1999). *Urbanização e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro. ABES. 353p.
- Pinto, N. L. S.; Holtz, A. C. T.; Martins, J. A. & Gomide, F. L. S. (1976). *Hidrologia básica*. São Paulo. Editora Blücher.

- Prefeitura Municipal de Itabira. (1999). *Canal da Praia: Uma obra que vai mudar a história de Itabira*. Encarte.
- Pruski, F. F.; Brandão, V. S. & Silva, D. D. (2004). *Escoamento superficial*. 2ed. Viçosa. Editora da UFV.
- São Paulo. (2012). *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais*. Prefeitura de São Paulo, Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/biblioteca_digital/manual_de_drenagem/index.php?p=49018>.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin*, 67(1):597-646. Disponível em: <<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/67/5/597/4811/evolution-of-drainage-systems-and-slopes-in?redirectedFrom=fulltext>>;.
- Silva, L. P. (2015). *Hidrologia Engenharia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro. Editora Elsevier.
- Soares, S. de A. (2015). *Gestão de Recursos Hídricos*. Livro eletrônico. Curitiba: Editora InterSaber.
- Teodoro, V. L. I.; Teixeira, D.; Costa, D. J. L. & Fuller, B. B. (2007). O Conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Uniara*, 20(1):137-156. Disponível em <http://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>;.
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. Porto Alegre. Editora ABRH.
- Tucci, C. E. M. (2009). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH.
- UFMG (2014). SisCCoH. Sistema para Cálculo de Componentes Hidráulicos. *Software*. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Disponível em: <<http://www.ehr.ufmg.br/downloads/>>;.
- UFV. (2006). Universidade Federal de Viçosa (UFV). Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos-GPRH: *Softwares*. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>;.

Apêndice

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Daiane Fernandes Alvarenga - 30%
Douglas Barbosa Portilho - 20%
Juni Cordeiro - 20%
Paulo Eduardo Alves Therezo - 10%
José Luiz Cordeiro - 10%
Graziele Lage Alves Santiago - 10%