

Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG)

Morphometric analysis of hydrographic basin of Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG)

**Análisis morfométrico de la Cuenca Hidrográfica del Ribeirão Candidópolis, Itabira
(MG)**

Tárik Silveira Cordeiro

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: tarik.cordeiro@globo.com

Hendiel Aparecida de Abreu

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: hendielmix@hotmail.com

Priscila Rhayane da Silva

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: priscilarhayane@yahoo.com.br

Rayner Felipe Maciel Muller

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: rayner.filipe@gmail.com

Daiane Fernandes Alvarenga

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: daialvarenga15@gmail.com

Douglas Barbosa Portilho

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: db.portilho@gmail.com

Juni Cordeiro

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: juni.cordeiro@funcesi.br

José Luiz Cordeiro

Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira, Brasil

E-mail: jluiz.cordeiro@funcesi.br

Recebido: 14/07/2018 – Aceito: 10/08/2018

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis é de grande importância para Itabira (MG), abastecendo mais de 55% da população urbana deste município. Entretanto, intervenções antrópicas região têm promovido a degradação em porções desta bacia, interferindo na qualidade da água utilizada para abastecimento e alterando o ciclo hidrológico ao modificarem as etapas de infiltração e escoamento superficial. Dessa forma, este trabalho objetivou a caracterização dos parâmetros morfométricos desta bacia. Para tal, foi utilizado um banco de dados referente ao uso e ocupação do solo na bacia e o software ArcGIS para a determinação dos dados referentes à área, perímetro, comprimento de talvegue principal, dentre outros, necessários para a determinação dos parâmetros morfométricos representados pelos índices de circularidade e rugosidade, fator de forma, densidade de drenagem e coeficiente de compactidade. Verificou-se que em função das suas características físicas, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis possui uma baixa densidade de drenagem e não é propensa à ocorrência de cheias. Além disso, notou-se que o predomínio de áreas de pastagens interfere na infiltração da precipitação, resultando em valores elevados de vazão máxima de escoamento superficial. De maneira geral, destaca-se a importância da preservação da vegetação nativa e a recuperação das áreas degradadas na bacia, visando a manutenção do ciclo hidrológico e evitando a contaminação das águas superficiais.

Palavras-chave: Ciclo hidrológico; Escoamento superficial; Uso e ocupação do solo.

Abstract

The Hydrographic Basin of Ribeirão Candidópolis is of great importance for Itabira (MG), supplying more than 55% of the urban population of this municipality. However, anthropic interventions in the region have promoted degradation in portions of this basin, interfering in the quality of the water used for supply and altering the hydrological cycle by modifying the infiltration and surface runoff stages. In this way, this work aimed at characterizing the morphometric parameters of this basin. For this purpose, a database was used for the use and occupation of the soil in the basin and the ArcGIS software for the determination of data referring to the area, perimeter, main talweg length, among others, necessary for the determination of the morphometric parameters represented by the circularity and roughness indexes, shape factor, drainage density and compactness coefficient. It was verified that due to its physical characteristics, the Hydrographic Basin of Ribeirão Candidópolis has a low drainage density and is not prone to flooding. In addition, it was noted that the predominance of pasture areas interferes with the infiltration of precipitation, resulting in high values of maximum runoff flow. In general, the importance of the preservation of native vegetation and the recovery of

degraded areas in the basin are emphasized, aiming at maintaining the hydrological cycle and avoiding the contamination of surface waters.

Keywords: Hydrological cycle; Surface runoff; Soil use and occupation.

Resumen

La Cuenca Hidrográfica del Ribeirão Candidópolis es de gran importancia para Itabira (MG), abasteciendo más del 55% de la población urbana de este municipio. Sin embargo, intervenciones antrópicas región han promovido la degradación en porciones de esta cuenca, interfiriendo en la calidad del agua utilizada para abastecimiento y alterando el ciclo hidrológico al modificar las etapas de infiltración y escurrimiento superficial. De esta forma, este trabajo objetivó la caracterización de los parámetros morfométricos de esta cuenca. Para ello, se utilizó una base de datos referente al uso y ocupación del suelo en la cuenca y el software ArcGIS para la determinación de los datos referentes al área, perímetro, longitud de talvague principal, entre otros, necesarios para la determinación de los parámetros morfométricos representados por los mismos índices de circularidad y rugosidad, factor de forma, densidad de drenaje y coeficiente de compacidad. Se verificó que en función de sus características físicas, la Cuenca Hidrográfica del Ribeirão Candidópolis posee una baja densidad de drenaje y no es propensa a la ocurrencia de inundaciones. Además, se notó que el predominio de áreas de pasturas interfiere en la infiltración de la precipitación, resultando en valores elevados de caudal máximo de flujo superficial. En general, se destaca la importancia de la preservación de la vegetación nativa y la recuperación de las áreas degradadas en la cuenca, buscando el mantenimiento del ciclo hidrológico y evitando la contaminación de las aguas superficiales.

Palabras clave: Ciclo hidrológico; Flujo superficial; Uso y ocupación del suelo.

1. Introdução

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis é o manancial localizado mais próximo do centro de consumo de água da cidade de Itabira (MG), responsável pelo abastecimento de cerca de 55% da população urbana deste município (SAAE, 2017). Entretanto, como em vários lugares no Brasil, o abastecimento em Itabira é realizado através de captação em mananciais superficiais, que estão mais propícios à degradação (SAAE, 2014).

Essa região, assim como outras porções do município, tem sido submetida à remoção

da cobertura vegetal nativa para estabelecimento de atividades agropecuárias, mineradoras, instalação de indústrias e urbanização (FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES - FUNARBE, 2014).

Como consequência da intervenção antrópica, Vicente e Cordeiro (2018) verificaram que o estado de degradação de um trecho do Ribeirão Candidópolis pode ser classificado como “médio” com relação aos seus aspectos físicos (desenvolvimento longitudinal, seção transversal, integridade morfológica e regime hidrológico). Já a qualidade ambiental, associada aos indicadores diversidade de habitats, existência de áreas verdes marginais e os aspectos referentes à qualidade da água, recebeu a avaliação de degradação “muito alta”, vinculada à escassez ou ausência de mata ciliar.

Além de comprometer a qualidade da água utilizada para o abastecimento da população, o uso e a ocupação desordenados do solo podem alterar o ciclo hidrológico ao modificarem, principalmente, as etapas de infiltração e escoamento superficial. Neste sentido, destaca-se que o ciclo hidrológico tem como elemento fundamental de análise a bacia hidrográfica, que pode ser compreendida como a área de captação natural dos fluxos de água provenientes da precipitação, responsável por direcionar os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A precipitação corresponde ao principal mecanismo de fornecimento de água a partir da atmosfera. No solo, a precipitação pode seguir três caminhos: (1) formar os escoamentos superficiais diretos, que representam as águas que escorrem sobre o solo em função da gravidade, desaguando em rios, córregos ou outros corpos hídricos sem sofrer evaporação ou infiltração; (2) originar os escoamentos subsuperficiais, compreendendo os volumes de água que escoam na horizontal, abaixo da superfície; (3) compor os fluxos de infiltração e de percolação, alimentando as águas subterrâneas (DAVIS; MASTEN, 2016).

De acordo com von Sperling (2014), a água subterrânea é amplamente responsável pela alimentação dos corpos hídricos superficiais, principalmente nos períodos de estiagem. Assim, um solo com cobertura vegetal, ou seja, com menor impermeabilização, é capaz de reduzir o escoamento superficial, resultando em menos enchentes nos períodos chuvosos; aumentar a infiltração, promovendo maior alimentação dos rios nos períodos secos e promover menor carreamento de partículas do solo para os corpos hídricos.

Além da vegetação, o clima, o relevo, as rochas do subsolo e os solos são fatores que influenciam a interação da água da chuva com a bacia hidrográfica (COLLISCHONN; TASSI, 2008). Desse modo, a análise de parâmetros morfométricos, que correspondem à análise quantitativa das relações existentes entre a dinâmica hidrológica e a fisiografia da

bacia, mostra-se relevante para o conhecimento do comportamento hidrológico, permitindo a prevenção, identificação e gerenciamento de alterações hidrológicas, podendo ainda ser utilizado como indicador da capacidade de escoamento superficial.

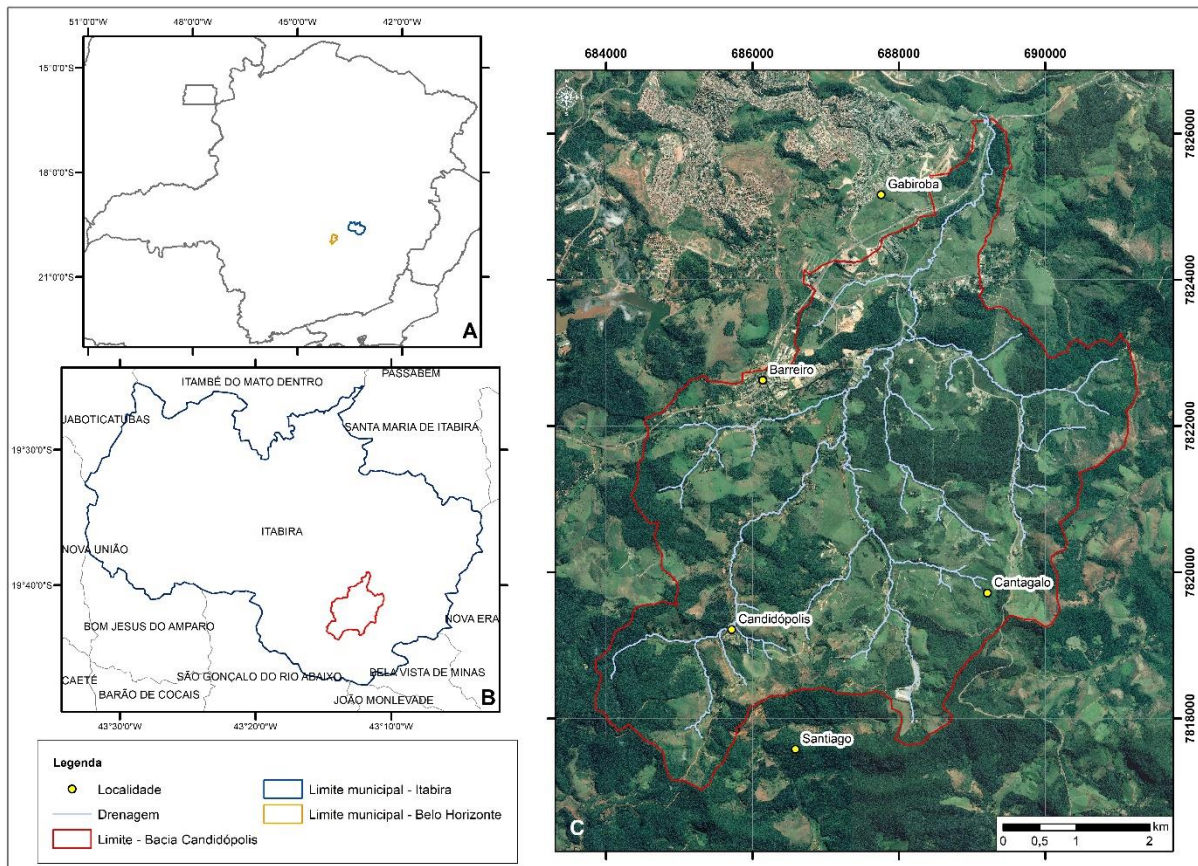
Assim, esse trabalho tem como objetivo a caracterização dos parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, além da determinação dos parâmetros hidrológicos representados pela intensidade de chuva, tempo de concentração e vazão de projeto considerando as formas atuais de uso e ocupação do solo e uma situação modelo na qual as áreas referentes às pastagens, loteamento e agricultura foram substituídas por florestas.

2. Metodologia

O município de Itabira/MG (Figura 1A) dista aproximadamente 100km a nordeste de Belo Horizonte, capital mineira, possuindo uma área territorial de cerca de 1.253,704 km² e população de 109.783 de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010a).

A Comunidade do Candidópolis, situada na porção sul-sudoeste da bacia hidrográfica homônima (Figuras 1B e 1C), dista cerca de 15,7 km da região central de Itabira, possuindo aproximadamente setenta residências e propriedades rurais. Destaca-se que a agricultura e pecuária são as principais atividades econômicas da população local (EVARISTO et al., 2017).

Figura 1 - (A) Localização do município de Itabira no âmbito do estado de Minas Gerais; (B) Localização da Bacia Hidrográfica do Candidópolis na área pertencente ao município de Itabira; (C) Imagem de satélite georreferenciada da área abrangida pela Bacia Hidrográfica do Candidópolis.



Fonte: Modificado de IBGE (2010b), FUNARBE (2014), Prefeitura Municipal de Itabira (2015).

Nesta pesquisa foram analisadas as informações referentes ao uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, obtidas no relatório denominado “Elaboração de diagnósticos socioambientais na bacia do Ribeirão Candidópolis, bem como o cálculo de valoração econômica do serviço ambiental a ser pago aos produtores rurais” elaborado pela FUNARBE (2014).

As características físicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, tais como área, perímetro, comprimento do talvegue principal, distância vetorial do canal principal, comprimento total dos rios e canais, cota máxima e cota mínima, necessários para a análise dos parâmetros morfométricos (Quadro 1), foram obtidos por meio do software ArcGIS versão 10.2.2 e dados cartográficos elaborados pela FUNARBE (2014), referentes à hidrografia, relevo e uso e ocupação do solo ao longo da bacia.

Quadro 1: Parâmetros morfométricos utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas

| Parâmetro | Descrição | Fórmula |
|-----------|-----------|---------|
|-----------|-----------|---------|

| | | |
|---|---|--|
| Área (A) | Região drenada pelo conjunto do sistema fluvial inserida entre seus divisores topográficos (TONELLO, 2005) | - |
| Perímetro (P) | Comprimento da linha imaginária que se estende ao longo do divisor de águas (TONELLO, 2005) | - |
| Coefficiente de Compacidade (K _c) | Relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975) | $k_c = \frac{0,282 \cdot P}{\sqrt{A}}$ |
| Fator de forma(K _f) | Corresponde à razão entre o comprimento axial da bacia e a sua largura média (CARDOSO et al., 2006) | $K_f = \frac{A}{L^2}$ A = área da bacia (km ²) L = comprimento do talvegue principal (km) |
| Índice de circularidade(I _c) | Tende à “1” à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (CARDOSO et al., 2006) | $I_c = \frac{12,57A}{P^2}$ A = área da bacia (km ²) P = perímetro da bacia (km) |
| Índice de rugosidade(I _r) | Associa a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média (CHRISTOFOLETTI, 1980) | $I_r = H D_d$ H = Desnível - diferença entre as cotas máxima e mínima (m) D _d = densidade de drenagem (km/km ²) |
| Densidade de Drenagem(D _d) | Relação entre o comprimento total dos cursos d'água da bacia e a sua área total (VILLELA; MATTOS, 1975). | $D_d = \frac{L_{rios}}{A}$ L _{rios} = comprimento total dos rios ou canais (km) A = área da bacia (km ²) |

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1980; CARDOSO et al., 2006; TONELLO, 2005; VILLELA; MATTOS, 1975.

Com relação à análise hidrológica, ressalta-se que os parâmetros K, a, b e c necessários para a determinação da intensidade média de chuva para o município de Itabira (Quadro 2) foram obtidos por meio do software Pluvio 2.1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (disponível em <http://www.gprh.ufv.br>).

Faz-se importante destacar que o tempo de retorno pode ser compreendido como o tempo médio que um dado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. Assim, de acordo com Righetto (1998), este parâmetro mostra-se essencial para a avaliação e desenvolvimento de projetos de sistemas hídricos, tais como reservatórios, vertedores e canais. Nesta pesquisa, o tempo de retorno empregado corresponde a 2 anos.

Para a estimativa do escoamento superficial (vazão), foi utilizado o método racional (Quadro 2), que permite a determinação da vazão máxima de escoamento superficial a partir de dados de chuvas (PRUSKI et al., 2008).

Quadro 2: Parâmetros hidrológicos utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas

| Parâmetro | Descrição | Fórmula |
|------------------------------------|--|--|
| Tempo de concentração (T_c) | Tempo necessário para a água percorrer desde o ponto mais distante da bacia até o exutório | $T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$ L = comprimento do talvegue principal (km) H = amplitude altimétrica (m) |
| Intensidade média da chuva (i) | Intensidade máxima média da chuva observada para uma duração correspondente ao tempo de concentração e para o período de retorno T | $i = \frac{k \cdot T^a}{(t + b)^c}$ T = tempo de retorno (anos) K, a, b e c parâmetros ajustados para Itabira t = duração da chuva (min) |
| Vazão (Q) – Método racional | Permite a determinação da vazão máxima de escoamento superficial a partir de dados de chuvas | $Q = \frac{i \cdot A \cdot C}{3,6}$ i = intensidade média da chuva (mm/h) A = área da bacia hidrográfica (km ²) C = coeficiente de escoamento |

Fonte: PRUSKI et al., 2008.

Faz-se importante salientar que o método racional é baseado em alguns princípios básicos, dentre os quais podem ser destacados: (i) as precipitações são caracterizadas por alta intensidade e curta duração; (ii) a vazão máxima do escoamento superficial corresponde àquela que ocorre quando a duração da chuva corresponde ao tempo de concentração; (iii) a precipitação com duração igual ao tempo de concentração ocorre de modo uniforme ao longo de toda a bacia e (iv) deve-se utilizar um único coeficiente de escoamento superficial, determinado a partir das características da bacia (PRUSKI et al., 2008).

O coeficiente de escoamento, parâmetro adimensional, representa a relação entre o volume escoado sobre a superfície do terreno e o volume total precipitado (PRUSKI et al., 2008), sendo comumente definido com o auxílio de tabelas, assim como aquela apresentada na Tabela 1. Ressalta-se que nas situações nas quais há variabilidade de classes de uso e ocupação do solo, este coeficiente deve corresponder à média ponderada apresentada pela equação 1:

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \quad (\text{equação 1})$$

Sendo que:

C_1, C_2, \dots, C_i = coeficientes de escoamento superficial para as áreas A_1, A_2, \dots, A_i , respectivamente;

A_1, A_2, \dots, A_i = áreas que possuem coeficientes C_1, C_2, \dots, C_i ;

C = coeficiente de escoamento superficial obtido pela média ponderada efetuada.

Tabela 1: Coeficiente de escoamento racional (C) para diferentes usos do solo e período de retorno (anos)

| Superfície | Tempos de retorno (anos) | | | | | | |
|---|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 |
| Asfalto | 0,73 | 0,77 | 0,81 | 0,86 | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| Concreto/telhado | 0,75 | 0,80 | 0,83 | 0,88 | 0,92 | 0,97 | 1,00 |
| Gramados (cobrimento de 50% da área) | | | | | | | |
| Plano (0 – 2%) | 0,32 | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,44 | 0,47 | 0,58 |
| Média (2 – 7%) | 0,37 | 0,40 | 0,43 | 0,46 | 0,49 | 0,53 | 0,61 |
| Inclinado (>7 %) | 0,40 | 0,43 | 0,45 | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,62 |
| Gramados (cobrimento de 50% a 70% da área) | | | | | | | |
| Plano (0 – 2%) | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,41 | 0,53 |
| Média (2 – 7%) | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,49 | 0,58 |
| Inclinado (>7 %) | 0,37 | 0,40 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,53 | 0,60 |
| Gramados (cobrimento maior que 75% da área) | | | | | | | |
| Plano (0 – 2%) | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,29 | 0,32 | 0,36 | 0,49 |
| Média (2 – 7%) | 0,29 | 0,32 | 0,35 | 0,39 | 0,42 | 0,46 | 0,56 |
| Inclinado (>7 %) | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,44 | 0,47 | 0,51 | 0,58 |
| Campos cultivados | | | | | | | |
| Plano (0 – 2%) | 0,31 | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,57 |
| Média (2 – 7%) | 0,35 | 0,38 | 0,41 | 0,44 | 0,48 | 0,51 | 0,60 |
| Inclinado (>7 %) | 0,39 | 0,42 | 0,44 | 0,48 | 0,51 | 0,54 | 0,61 |
| Pastos | | | | | | | |
| Plano (0 – 2%) | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,41 | 0,53 |
| Média (2 – 7%) | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,49 | 0,58 |
| Inclinado (>7 %) | 0,37 | 0,40 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,53 | 0,60 |
| Florestas/Reflorestamentos | | | | | | | |
| Plano (0 – 2%) | 0,22 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,39 | 0,48 |

| | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Média (2 – 7%) | 0,31 | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,56 |
| Inclinado (>7 %) | 0,35 | 0,39 | 0,41 | 0,45 | 0,48 | 0,52 | 0,58 |

Fonte: CHOW et al., 1988.

Assim, nesta pesquisa, buscou-se a determinação do escoamento superficial considerando o uso e ocupação atuais do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis e daquele que seria verificado na situação na qual a vegetação nativa substitui as áreas correspondentes às pastagens, agricultura, loteamento e solo exposto.

3. Resultados e discussões

A definição dos parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica corresponde à um dos primeiros procedimentos realizados em análises ambientais ou hidrológicas, visando a compreensão das dinâmicas ambientais local e regional (TEODORO et al. 2007). Neste contexto, Garcez e Alvarez (1988) salientam o papel desempenhado pelo uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica, visto que a tendência acentuada de ocupação do solo pelo homem altera, às vezes de forma substancial, a cobertura do terreno, promovendo a modificação das características da bacia no tempo.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados referentes quanto à análise dos parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, caracterizada como de 4ª ordem, possuindo uma área de 33,62 km² e perímetro de 33,30 km.

Tabela 2: Características físicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG)

| Características físicas | Resultados |
|---|-------------------|
| Área de drenagem (km ²) | 33,62 |
| Perímetro (km) | 33,30 |
| Comprimento do talvegue principal (km) | 9,46 |
| Comprimento total dos rios ou canais (km) | 52,24 |
| Coefficiente de compacidade | 1,628 |
| Fator de forma | 0,376 |
| Índice de circularidade | 0,381 |
| Altitude máxima (m) | 1115 |

| | |
|---|----------------|
| Altitude mínima (m) | 700 |
| Ordem da bacia | 4 ^a |
| Densidade de drenagem (km/km ²) | 1,554 |
| Índice de rugosidade | 644,842 |

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com Christofolletti (1980), a hierarquia fluvial corresponde à classificação do curso d'água (ou da área drenada associada a este) no conjunto da bacia hidrográfica na qual está situado, visando a objetividade das análises morfométricas. Dentre os critérios disponíveis para esta classificação, pode-se destacar o de Strahler, segundo o qual os canais menores, sem tributários, são definidos como de primeira ordem, os canais de segunda ordem são formados pela confluência de dois canais de primeira ordem, os canais de terceira ordem se originam da confluência de dois canais de segunda ordem e assim sucessivamente.

Destaca-se que o comprimento do canal principal na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis possui 9,46 km, enquanto a rede de drenagem total possui 52,24 km e a densidade de drenagem corresponde a 1,554 km/km², valor que indica uma baixa densidade de drenagem.

A densidade de drenagem está relacionada ao número de cursos d'água e a área da bacia, assim, nas situações nas quais há grande quantidade de cursos d'água em uma bacia, o deflúvio atinge de forma rápida os rios, ocorrendo, possivelmente, picos de enchente altos e deflúvios de estiagem baixos (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). De acordo com Christofolletti (1969), bacias com densidade de drenagem menores do que 7,5 km/km² possuem baixa densidade de drenagem; aquelas classificadas entre 7,7 e 10 km/km² são caracterizadas por uma média densidade de drenagem, enquanto as bacias com densidade de drenagem superiores a 10,0 km/km² possuem alta densidade de drenagem.

Verificou-se que o fator de forma da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis corresponde a 0,376. A forma da bacia é considerada uma característica importante, uma vez que possibilita a compreensão do seu comportamento em termos de respostas às chuvas. Assim, nas situações nas quais todas as demais variáveis são iguais (geologia, solo, declividade, dentre outros), as bacias caracterizadas por um formato mais alongado possuiriam respostas mais lentas às chuvas quando comparadas àquelas de formato menos alongado (COLLISCHONN; TASSI, 2008). Nota-se, dessa forma, que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis possui um fator de forma baixo, estando, portanto, menos propensa

à ocorrência de enchentes.

O índice de circularidade determinado para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis corresponde a 0,381, indicando que o perímetro da bacia é alongado, já que conforme Cardoso et al. (2006), este parâmetro circularidade tende para unidade quando a bacia se aproxima de uma forma circular, diminuindo à medida que a forma se torna alongada. Dessa forma, verifica-se na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis um favorecimento dos processos de escoamento, uma vez que há redução da possibilidade de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda sua extensão, dificultando, dessa forma, eventuais inundações.

O coeficiente de compacidade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis corresponde a 1,628. De maneira geral, quanto maior a irregularidade da bacia, maior será o coeficiente de compacidade, assim, destaca-se que um coeficiente mínimo igual a uma unidade representaria uma circular, indicando uma maior propensão da bacia a cheias (VILLELA; MATTOS 1975).

Por fim, o índice de rugosidade verificado para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis corresponde a 644,842, valor que pode ser considerado alto. Destaca-se que este índice caracteriza a relação entre a declividade e os comprimentos dos canais, desta forma, valores elevados sugerem relevo mais colinoso e dissecado (exibindo maiores declividades) e canais mais entalhados (CHRISTOFOLETTI, 1980).

3.1 Uso e ocupação do solo

A Lei Municipal nº 3.547/2000, referente às áreas de proteção ambiental situadas no município de Itabira, estabelece em seu artigo 1º que “ficam declaradas áreas de proteção ambiental sob a denominação de APA PUREZA e APA GATOS, a bacia de contribuição do Córrego Candidópolis, do Córrego Pai João e seus afluentes” (ITABIRA, 2000, Art. 1º). Destaca-se que uma Área de Proteção Ambiental (APA) corresponde, de acordo com o artigo 15 da Lei nº 9.985/2000, à uma área comumente extensa, possuindo um certo grau de ocupação humana e provida de características bióticas, abióticas, estéticas ou culturais, relevantes para o bem-estar e qualidade de vida das populações humanas (BRASIL, 2000).

Apesar da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis ser importante para o abastecimento de cerca de 55% da população urbana de Itabira, a ocupação humana desordenada nesta área tem resultado no desenvolvimento de processos erosivos e compactação do solo, afetando o ciclo hidrológico local (FUNARBE 2014).

Neste sentido, ressalta-se que uma parte significativa da área correspondente à Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis (Tabela 3) é utilizada como pastagem, correspondendo a 51,61% (17,35 km²), sendo que 26,98% (9,07 km²) desta classe correspondem à pastagem degradada (FUNARBE, 2014).

Tabela 3 – Área (km²) e porcentagem (%) das classes de uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis

| Classe de uso e cobertura do solo | Área (km ²) | Área (%) |
|------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Mata natural | 11,47 | 34,12 |
| Pastagem degradada | 9,07 | 26,98 |
| Pastagem | 8,28 | 24,63 |
| Loteamentos de propriedades rurais | 1,62 | 4,82 |
| Área urbanizada | 1,05 | 3,11 |
| Reflorestamento | 0,81 | 2,40 |
| Brejos | 0,73 | 2,17 |
| Solo exposto | 0,28 | 0,84 |
| Área de mineração | 0,11 | 0,33 |
| Agricultura | 0,10 | 0,29 |
| Afloramento rochoso | 0,05 | 0,15 |
| Corpos d'água | 0,05 | 0,15 |
| Total | 33,62 | 100% |

Fonte: FUNARBE, 2014.

Nota-se que aproximadamente 34% da área da bacia é constituída por vegetação nativa, comumente associada a topos de morros, ocorrendo ao longo das encostas até próximas às drenagens. Ressalta-se, entretanto, que, mesmo que grande parte dessas áreas de mata seja classificada como secundária bem estabelecida, há regiões em períodos iniciais de sucessão natural de espécies (FUNARBE, 2014).

De acordo com a FUNARBE (2014), as áreas de reflorestamento localizadas ao sul da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, tem formas similares à vegetação nativa, preenchendo aproximadamente 2,4% (0,81 km²) da bacia, sendo predominantemente representada por pinus e, de forma menos significativa, por eucalipto.

Os loteamentos de propriedades rurais e áreas urbanizadas totalizam cerca de 7,93% da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, estando comumente situadas próximas às drenagens e em porções mais elevadas da bacia. Já nas áreas urbanas a impermeabilização do

solo acarreta em um escoamento superficial concentrado, afetando negativamente a recarga hídrica da bacia (FUNARBE, 2014).

As áreas de solo exposto correspondem a apenas 0,84% do total da bacia, contudo, podem contribuir com volume significativo de sedimentos para os cursos d'água, uma vez que correspondem, em sua maioria, a áreas antigas de empréstimos de solos. Ainda de acordo com a FUNARBE (2014), os brejos têm grande importância para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, uma vez que tem o papel de regulador do fluxo d'água, reduzindo a velocidade de saída de água das nascentes. Consequentemente, ao serem drenadas, essas áreas acabam perdendo esse controle, permitindo que a água escoe com maior velocidade, fazendo com que a água permaneça por um menor tempo na bacia.

Por fim, as áreas de agricultura correspondem a canaviais e capineiras, localizadas em terços inferiores de encosta e terraços, ocupando somente 0,29% da área da bacia. As outras classes como afloramentos rochosos e cursos d'água também são pouco significativas, totalizando cerca de 0,3% do total (FUNARBE, 2014).

Considerando as áreas referentes à essas classes de ocupação do solo e os coeficientes de escoamento apresentados na Tabela 1, determinou-se para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis um coeficiente de escoamento superficial ponderado correspondente a 0,34.

O tempo de concentração na bacia estudada corresponde a 75 min, assim, a intensidade da chuva utilizando os parâmetros fornecidos pelo software Plúvio 2.1 ($K = 1543,634$, $a = 0,181$, $b = 19,742$ e $c = 0,808$) para o município de Itabira, considerando um tempo de retorno (T) de 2 anos, e uma duração da chuva (t) equivalente ao tempo de concentração, corresponde a 44,3 mm/h. A vazão no exutório da bacia corresponde a 140,5 m³/s, representando a vazão máxima de escoamento superficial, também denominada vazão de pico (Tabela 4).

Para efeito comparativo, simulou-se um modelo substituindo as classes de uso e ocupação do solo referentes às pastagens (51,61%), loteamentos de propriedades rurais (4,82%) e agricultura (0,29%) por florestas, o que gerou um coeficiente de escoamento superficial ponderado correspondente a 0,32 (Tabela 4). Utilizando esse novo coeficiente de escoamento superficial e a mesma intensidade de chuva, nota-se uma redução pouco significativa da vazão no exutório da bacia, correspondendo a 134,1 m³/s.

Tabela 4: Características hidrológicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG), considerando um tempo de retorno de 2 anos

| Parâmetros | Resultados |
|---|------------|
| Coefficiente de escoamento (C) – uso e ocupação atuais da bacia | 0,34 |
| Coefficiente de escoamento (C) – substituição das áreas degradadas por floresta | 0,32 |
| Intensidade da chuva (mm/h) | 44,3 mm/h |
| Vazão (Q) - uso e ocupação atuais da bacia (m ³ /s) | 140,5 |
| Vazão (Q) - substituição das áreas degradadas por floresta (m ³ /s) | 134,1 |

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com Collischonn e 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 indicam 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).

Apesar dos dados hidrológicos obtidos, faz-se importante ressaltar que o método racional não deveria ser aplicado em áreas superiores a 500 ha, uma vez que em grandes bacias, com longos tempos de concentração, torna-se irreal assumir uma condição de regime permanente e uniformidade da intensidade de chuva. Entretanto, a simplicidade de aplicação e facilidade acerca do conhecimento e controle dos parâmetros a serem considerados, tornaram o seu uso difundido em bacias com área superior a 500 ha (PRUSKI et al., 2008).

4. Conclusões

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, situada em Itabira (MG), corresponde à principal fonte de abastecimento de água para a população urbana deste município, sendo declarada uma área de proteção ambiental. Contudo, verifica-se nos últimos anos o avanço da degradação ambiental, caracterizada, principalmente, pela remoção da vegetação natural.

Quando consideradas as características físicas, notou-se que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis possui uma baixa densidade de drenagem, formato mais alongado e fator de forma baixo, as quais a tornam menos propensa a enchentes. Contudo, o índice de rugosidade alto implica em um relevo mais colinoso e dissecado, favorecendo a degradação física por meio da erosão.

De maneira geral, uma área significativa da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis é utilizada como pastagem, sendo que uma parte desta se encontra degradada, podendo contribuir para o desenvolvimento de processos erosivos e compactação do solo, afetando o ciclo hidrológico local ao modificar as etapas de infiltração e escoamento superficial. Faz-se importante salientar que associado ao escoamento superficial há o transporte de partículas do solo, compostos químicos, matéria orgânica e defensivos agrícolas que podem causar, dentre outros impactos, prejuízos à produção agrícola, assoreamento e contaminação dos cursos d'água.

Assim, apesar das características físicas da bacia indicarem que não há uma propensão natural para cheias e inundações, a redução da capacidade de infiltração do solo aumenta o escoamento superficial, elevando a vazão máxima.

Dessa forma, a preservação da vegetação nativa e a recuperação das áreas degradadas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis mostram-se essenciais para a redução do escoamento superficial, visando a manutenção das vazões do curso d'água nos meses secos do ano e evitando as cheias e a contaminação das águas superficiais.

Referências

BRASIL. Lei nº 9985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 de julho de 2000 a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm> Acesso em: 29 jun. 2018.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo - RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622006000200011&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 13 jul. 2018.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS L. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, 9(18): 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Rio Grande do Sul: IPH UFRGS, 2008.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Editora ABRH, 2013.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

EVARISTO, G. V.; CORDEIRO, J.; ALVARENGA, C. A.; OPORTO, L. T.; QUINTÃO, P. L.; CALAZANS, G. M.; CORDEIRO, J. L. Saneamento básico e percepção ambiental: um estudo realizado na comunidade Candidópolis em Itabira, Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 4, n. 1, p. 45-61, jan. 2017. Disponível em: <<https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/viewFile/28/60>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES (FUNARBE). **Elaboração de diagnósticos socioambientais na Bacia do Ribeirão Candidópolis, Bem Como o Cálculo de Valoração Econômica do Serviço Ambiental a Ser Pago aos Produtores Rurais**. Viçosa - MG, 202 p, v. 1. 2014a.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Blucher, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo** - Séries históricas Município de Itabira. 2010a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mg/itabira/pesquisa/43/30281?detalhes=true&tipo=grafico>> Acesso em: 09 jun. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Base cartográfica ottocodificada da Bacia do Rio Doce**. 2010b. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/mapoteca/bases-cartograficas/ottocodificada/7739-hidrografia>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

ITABIRA. **Lei nº 3.547, de 16 de fevereiro de 2000.** Declara áreas de Proteção Ambiental os mananciais de abastecimento público do Município de Itabira e seus afluentes e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www.itabira.cam.mg.gov.br/upload/legislacao/3547.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA. **Documento interno:** Município de Itabira-MG: área de interesse, região de Candidópolis. 2015.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2004.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO (SAAE-ITABIRA). **Revitalização do Manancial da Bacia do Ribeirão Candidópolis.** Projeto Mãe d' Agua. Itabira-MG, 2014.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITABIRA (SAAE). **Projeto Mãe d'Água.** 2017. Disponível em: <<http://www.saaeitabira.com.br/index.php/meio-ambiente/mae-dagua>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

TEODORO, L. L. V.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara,** Araraquara, 2007, n. 20. Disponível em:<http://www.uniara.com.br/legado/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf >. Acesso em: 5 de junho 2018.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

VICENTE, I. T.; CORDEIRO, J. Diagnóstico de degradação do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG): uma contribuição para propostas de restauração. **Research, Society and Development,** v. 7, n. 2, p. 01-28, 2018. Disponível em:

<<https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/download/174/168>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.