

# USO DO MÉTODO DELPHI PARA MENSURAR A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS: O CASO DO CÓRREGO CHAFARIZ, ALFENAS - MG, BRASIL

*Delphi method to measure the environmental degradation in urban watersheds: Chafariz stream case, Alfenas-MG, Brazil*

**Gustavo José de Melo Lopes\***  
**Clibson Alves dos Santos\*\***

**\*Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL / Alfenas, Minas Gerais**  
gustavolopes77@hotmail.com

**\*\*Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL / Alfenas, Minas Gerais**  
clibsonsantos@gmail.com / clibson.santos@unifal-mg.edu.br

## RESUMO

O processo de urbanização observado no Brasil é marcado pela falta de planejamento, causando alterações nos ambientes, principalmente nos canais fluviais, que funcionam basicamente para o lançamento de águas pluviais. As alterações interferem na dinâmica fluviais e pluvial, além de causar ou intensificar eventos hidrológicos extremos, com as enchentes. O presente estudo visa analisar os processos de degradação da bacia hidrográfica do córrego do Chafariz na área urbana de Alfenas – MG, localizado no sul de Minas Gerais, através da identificação do índice de degradação (ID), utilizando 17 parâmetros classificados quantitativamente através do método Delphi. A área de estudo foi dividida em três subáreas: área urbana consolidada (A), área urbana em expansão (B) e área rural (C). Os resultados apontaram que a área urbana consolidada apresentou o ID mais elevado. Porém, nos demais trechos foram observados problemas decorrentes das alterações antrópicas. Identificou-se ainda, a intensidade dos tipos de degradação que ocorrem em cada subárea. Os dados obtidos e as propostas indicadas no presente estudo, podem auxiliar o poder pública na definição de prioridades de recuperação, nas discussões sobre o uso e ocupação do solo urbano, bem como na definição de diretrizes políticas que estruturam o ordenamento territorial no município.

**Palavras-chave:** Degradação ambiental. Bacias hidrográficas urbanas. Método Delphi. Geoprocessamento.

## ABSTRACT

The process of urbanization in Brazil is marked by the lack of planning, causing changes in the environment, especially in river channels, which run primarily for the launch of rainwater. Changes interfere with river and water dynamics, in addition to causing or intensifying hydrological extreme events, with the floods. This study aims to analyze the processes of degradation of the catchment area of the stream Chafariz, Alfenas-MG, located in the South of Minas Gerais, through the identification of degradation index (ID), using 17 classified parameters quantitatively through the Delphi method. The study area was divided into three sub-areas: (A) consolidated urban area, (B) expanding urban area and rural area (C). The results showed that the consolidated urban area presented the highest ID. However, in other passages were observed problems arising from anthropogenic changes. Identified yet, the intensity of the degradation occurring in each sub-area. The data obtained and the proposals set out in the present study, may help the public power in the definition of priorities for recovery, in the discussions about the use and occupation of urban land, as well as in the definition of policy guidelines that structure the spatial development in the municipality.

**Keywords:** Environmental degradation. Urban watersheds. Delphi Method. GIS (Geographical Information Systems).

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil, de modo geral, é possível a percepção da falta de planejamento que, conseqüentemente, interfere na dinâmica do meio físico e degradam o meio ambiente. As principais alterações que ocorrem nos espaços urbanos são: retirada da cobertura vegetal, construção de novas formas de relevo, impermeabilização do solo, aumento do volume de escoamento superficial, da carga de poluentes, da rugosidade da superfície, do acúmulo de partículas e gases na atmosfera e da produção de energia artificial, modificando elementos naturais, como o clima, o ar, a vegetação, o relevo e a água (FUJIMOTO, 2002).

Segundo Flinker (2012), os impactos do desenvolvimento urbano sobre os recursos hídricos ocorrem de forma qualitativamente (pela alteração da qualidade da água) e quantitativamente (com mudanças nos padrões de fluxo e quantidade da água) de maneira indissociável. Tais impactos estão relacionados ainda a aumentos na geração de efluentes domésticos e industriais.

Nesse sentido o ambiente urbano é resultado de interações antrópicos nos ambientes naturais, causando interferências que na maioria das vezes resultam em desequilíbrios e impactos ambientais. Segundo Freitas Filho (2010) para uma melhor compreensão da dinâmica hidrográfica urbana, os indicadores ambientais são parâmetros chaves que podem auxiliar na identificação dos processos de degradação e nas possíveis tomadas de decisões referentes à proteção do meio ambiente. Cabe ressaltar, as geotecnologias e seus gradativos avanços, principalmente na análise espacial, constituem-se em ferramentas para o processamento e integração de dados sociais, econômicos e ambientais, inclusive na aplicação de modelos geoestatísticos e computacionais, como o método Delphi, que auxiliam na compreensão das características, funções, dinâmica e equilíbrio de diversos elementos do meio físico, social, econômico e ambiental.

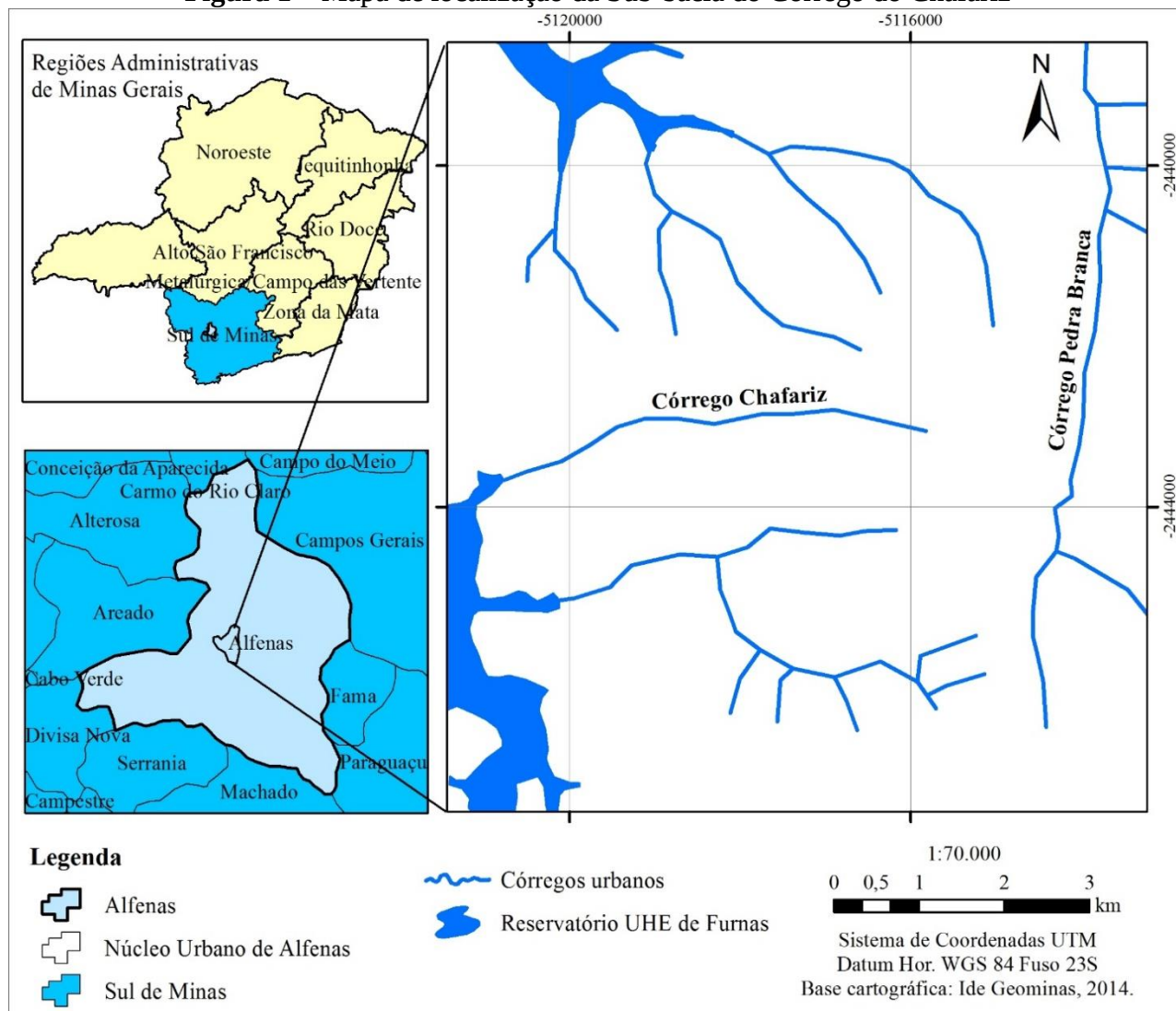
Entre as conseqüências das alterações observadas em bacias hidrográficas urbanas, destaca-se a intensificação dos eventos hidrológicos extremos, resultando em enchentes e inundações, que causam prejuízos materiais, sociais, ambientais, econômicos e sanitários nos ambientes urbanos. Entre as medidas de controle tomadas pelo poder público, geralmente são a construção de estruturas para controlar os fluxos superficiais, principalmente a canalização dos rios e alterações no sistema de drenagem para aumentar o escoamento das águas pluviais. Essas intervenções no equilíbrio fluvial urbano, apesar de terem um efeito de curto prazo, podem a médio e longo prazo terem o sentido inverso, causando o aumento dos fluxos e a intensificação das enchentes. No contexto brasileiro, esses problemas podem ser observados tanto em cidades de pequeno porte, como nas de médio e grande porte, como na cidade de Alfenas-MG, que mesmo sendo considerada como uma cidade média, com 78.712 habitantes (IBGE, 2015) possui todas os córregos urbanos parcialmente canalizados, mesmo não tendo um histórico recente de enchentes.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o grau de degradação de uma bacia hidrográfica na área urbana, no município de Alfenas – MG, localizado na região sul do estado de Minas Gerais, utilizando técnicas de geoprocessamento para aplicar o método Delphi de parâmetros indicadores adaptado de Freitas Filho (2010) e Rigotti e Pompêo (2011).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O Córrego do Chafariz está localizado na área urbana do Município de Alfenas-MG, desaguardo no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (Figura 1). A área de estudo faz parte da bacia hidrográfica do Rio Grande, afluente do alto Rio Paraná, inserido na região administrativa do Sul de Minas.

**Figura 1** – Mapa de localização da Sub-bacia do Córrego do Chafariz

O clima de Alfenas é do tipo tropical mesotérmico ou tropical de altitude subtipo - CwB de Köppen. Apresenta inverno seco com verões brandos e estação chuvosa no verão, tem amplitude pluviométrica entre 1.300 e 1.700 mm. De outubro a março chove em torno de 1.200 mm e de abril a setembro cerca de 120 mm. O mês mais seco é julho, quando normalmente ocorrem as menores temperaturas, sendo que outubro e novembro são os meses mais quentes (BRASIL, 1979). A temperatura média anual oscila entre 21 e 23° C. O verão e a primavera são as estações mais quentes, quando as máximas diárias variam de 28 a 30° C. No inverno, as médias mensais variam de 17 a 19° C, com as mínimas diárias entre 9 e 10° C (ALFENAS, 2006). Segundo a classificação de Gaussen, que correlaciona tipos e regimes climáticos com a vegetação, com uma maior aplicação prática junto à agricultura e estudos ambientais, Alfenas possui o clima subtermaxérico de transição-tropical subquente e subseco, que, de modo geral, corresponde às áreas de ocupação histórica pela cafeicultura (BRASIL, 1979).

A região sul de Minas Gerais apresenta uma história geológica altamente complexa de evolução policíclica e polifásica, que remonta desde o Arqueano até o Pré-Cambriano Superior/Eopaleozóico, caracterizada por eventos metamórficos magmáticos, anatéticos, migmatíticos e deformacionais superpostos. Estes terrenos compreendem várias unidades litoestruturais, quer de infraestrutura, quer supracrustais (HASUI, 2010).

Segundo Hasui (2010) a região de Alfenas ocupa o setor central da província tectônica da Mantiqueira ao sul do Cráton do São Francisco e no limite norte da cunha de Guaxupé. É formada basicamente por rochas pré-cambrianas de alto grau metamórfico como hiperstênio-granulitos, granulitos básicos, gnaisses graníticos bandados em associação com rochas neopaleozóicas. Na região, devido à tectônica intensa, foram formadas grandes áreas rebaixadas preenchidas por coberturas pedológicas e sedimentos quaternários.

Em termos geomorfológicos, Alfenas está situado no planalto Sul de Minas ou planalto de Varginha, superfície Alto Rio Grande (BRASIL, 1979), o qual, juntamente com o conjunto de serras faz parte do planalto Atlântico do Sudeste (AB'SABER, 1975). Apresenta relevos de morros fortemente ondulados no contato com os patamares da Serra da Canastra, com entalhe de drenagem profundo, seguidas de um relevo ondulado, com colinas amplas e morros, que apresentam rochas com alto grau de decomposição e relevo bastante dissecado. O modelado é caracterizado pela dissecação homogênea e predomínio de colinas e morros algumas vezes alongados, de vertentes convexo-côncavas e de topos convexos a planos (BRASIL, 1962; 1979).

Os solos de Alfenas são predominantemente Latossolos Vermelhos distróficos, textura argilosa, fase cerrado, relevo plano e suave ondulado (MINAS GERAIS, 2010). Há a presença ainda em algumas áreas de Latossolos Amarelos, Gleissolos, Cambissolos e Latossolos fase floresta sempre verde (BRASIL, 1962; ALFENAS, 2006).

## **2.2 Avaliação da condição de degradação do Córrego Chafariz**

O córrego Chafariz, como nos demais córregos urbanos de Alfenas, apresentam-se alterados principalmente pela retificação e canalização dos cursos d'água. Apesar do município não ter um histórico recorrente de enchentes e inundações, nota-se que o poder público, de maneira preventiva decidiu em realizar essas alterações, com o intuito de disciplinar melhor o escoamento das águas pluviais, visando minimizar eventuais danos em decorrência de eventos hidrológicos extremos. No entanto, compreende-se que essas intervenções a médio e longo prazo podem ter o efeito contrário, por induzir os fluxos superficiais em ambientes impermeabilizados, aumentando a concentração e o volume das águas superficiais.

Diante desse cenário, decidiu-se compreender os problemas resultantes do processo de urbanização e alteração dos córregos urbanos em Alfenas, analisando o córrego Chafariz através da proposta de Indicadores de Degradação de bacias hidrográficas urbanas (Freitas Filho, 2010) definidos através da aplicação do método Delphi para atribuir pesos aos indicadores de parâmetros de degradação dos cursos d'água proposto por Dalla Costa e Pompêo (2008) e Pereira et al. (2009), que estruturaram o Quadro de Avaliação da Condição dos Rios Urbanos e pontuados conforme a intensidade do impacto.

O método Delphi foi desenvolvido na década de 1960 com objetivo de trabalhar com dados não mensuráveis em estudos ou pesquisas. Este método é fundamentado na aplicação de questionários a especialistas onde pode ocorrer discussões sobre os resultados até um consenso (FREITAS FILHO, 2010). Segundo Wright e Giovinazzo (2000) é um método adequado para trabalhos em que há carência de dados históricos e ou quantitativos do objeto de estudo.

Freitas Filho (2010) utilizou o método de previsão Delphi para definir pesos aos indicadores. Para tanto, inicialmente foi feita revisão de literatura para definir critérios, métodos, propor parâmetros e indicadores para avaliar a degradação de drenagens urbanas. A proposição de indicadores foi baseada no modelo PER "Pressão - Estado - Resposta" (OECD, 2003). Após essa proposição inicial foi realizada uma pré-avaliação entre alguns participantes do Congresso Ibero-americano e do Caribe sobre Restauração Ecológica, em Curitiba, 2009, para avaliar se os indicadores propostos estavam adequados, a seleção baseou-se nas áreas de atuação dos participantes quando foram selecionados profissionais que atuam de forma direta com o Meio Ambiente. Finalmente foram filtrados e definidos os parâmetros com os seguintes indicadores: Mata ciliar, Erosão e Assoreamento,

Modificações no curso d' água e Poluição. Para esses indicadores, foram definidos níveis de degradação e valores de impacto transformando-o em um modelo aplicável para avaliação de degradação de bacias hidrográficas urbanas em qualquer região.

Para avaliar as condições de degradação da área de estudo foi utilizado o método proposto por Freitas Filho (2010) que analisa a degradação ambiental a partir de dezessete indicadores, agrupados em 5 categorias, conforme descrito na tabela 1.

**Tabela 1** – Parâmetros, e seus limiares qualitativos e quantitativos, para avaliação de córregos urbanos (Adaptado de Freitas Filho, 2010; Rigotti e Pompêo, 2011)

| <b>Categoria</b> | <b>Parâmetros</b>                                                                                                                                              | <b>Impactos</b> |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>1</b>         | <b>Alterações na Cobertura Vegetal</b>                                                                                                                         |                 |
| <b>1.1</b>       | <b>Corte ou remoção da vegetação</b>                                                                                                                           |                 |
|                  | Mata ciliar preservada (mais de 85%)                                                                                                                           | 0               |
|                  | Presença de até 85% de mata ciliar                                                                                                                             | 1               |
|                  | Presença de 70% a 85% de mata ciliar                                                                                                                           | 2               |
|                  | Presença de 50% a 70% de mata ciliar                                                                                                                           | 3               |
|                  | Presença de 25% a 50% de mata ciliar                                                                                                                           | 4               |
|                  | Ausência ou abaixo de 25 % de mata ciliar                                                                                                                      | 5               |
| <b>1.2</b>       | <b>Substituição parcial ou total da vegetação nativa por espécies exóticas</b>                                                                                 |                 |
|                  | Mais de 70% de vegetação natural                                                                                                                               | 0               |
|                  | Predomínio de vegetação natural (até 70%) com poucos pontos de vegetação exótica (até 30%)                                                                     | 1               |
|                  | Predomínio da vegetação natural (70% a 55%) com diversos pontos de vegetação exótica (30% a 45%)                                                               | 2               |
|                  | Aproximadamente a mesma área de mata ciliar e de vegetação exótica (55% a 45% ambos)                                                                           | 3               |
|                  | Predomínio da vegetação exótica (acima de 70%) sendo a maior parte de pequeno porte                                                                            | 4               |
|                  | Predomínio da vegetação exótica (Acima de 70%) sendo a maior parte de grande porte                                                                             | 5               |
| <b>2</b>         | <b>Processos Erosivos e Assoreamento</b>                                                                                                                       |                 |
| <b>2.1</b>       | <b>Processos erosivos visíveis nas margens</b>                                                                                                                 |                 |
|                  | Ausência de pontos de erosão                                                                                                                                   | 0               |
|                  | Os pontos de erosão não comprometem a estabilidade das margens                                                                                                 | 2               |
|                  | Os pontos de erosão comprometem a estabilidade das margens                                                                                                     | 4               |
|                  | Trecho totalmente erodido, margens e leito totalmente degradados                                                                                               | 5               |
| <b>2.2</b>       | <b>Presença de sedimentos nas margens</b>                                                                                                                      |                 |
|                  | Margem com ausência ou quantidade insignificante de sedimentos (contribuição insignificante para o assoreamento do curso d'água)                               | 0               |
|                  | Margem com pouca quantidade de sedimentos (contribui para o assoreamento do curso d'água)                                                                      | 2               |
|                  | Margem com excesso de sedimentos (principal agente responsável pelo assoreamento do curso d'água)                                                              | 4               |
|                  | Margem totalmente ocupada por sedimentos (principal agente responsável pelo assoreamento do curso d'água)                                                      | 5               |
| <b>2.3</b>       | <b>Obstruções do leito por acúmulo de sedimentos</b>                                                                                                           |                 |
|                  | Ausência de assoreamento e obstruções do leito                                                                                                                 | 0               |
|                  | Presença de trechos assoreados com pouca obstrução do fluxo d'água                                                                                             | 2               |
|                  | Trecho assoreado com grande obstrução do fluxo d'água                                                                                                          | 4               |
|                  | Trecho extensivamente assoreado com grande interferência do fluxo d'água (Assoreamento causado por grandes quantidades de sedimentos, exemplo desmoronamentos) | 5               |

|            |                                                                                                                                                                                                    |   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>3</b>   | <b>Implementação de Infraestrutura Física</b>                                                                                                                                                      |   |
| <b>3.1</b> | <b><i>Retificação da seção transversal</i></b>                                                                                                                                                     |   |
|            | Seção transversal sem alteração                                                                                                                                                                    | 0 |
|            | Seção transversal com retificação em um dos lados ou no fundo do curso (apenas uma retificação)                                                                                                    | 2 |
|            | Seção transversal com retificação nos dois lados do curso ou no fundo e em um dos lados (duas retificações)                                                                                        | 4 |
|            | Seção transversal totalmente retificada                                                                                                                                                            | 5 |
| <b>3.2</b> | <b><i>Mudança de revestimento da seção transversal</i></b>                                                                                                                                         |   |
|            | Não ocorreu mudança no revestimento da seção transversal (canal natural)                                                                                                                           | 0 |
|            | Utilização de revestimento com significantes protuberâncias, em parte da seção transversal (enrocamento, pedra lançada ou gabiões, canais escavados em terra com cobertura de grama e semelhantes) | 1 |
|            | Utilização de revestimento com significantes protuberâncias, em toda a seção transversal (enrocamento, pedra lançada ou gabiões, canais escavados em terra com cobertura de grama e semelhantes)   | 2 |
|            | Utilização de revestimento liso em parte da seção transversal (Canais de concreto e Materiais com rugosidade semelhante)                                                                           | 4 |
|            | Utilização de revestimento liso em toda seção transversal (Canais de concreto e Materiais com rugosidade semelhante)                                                                               | 5 |
| <b>3.3</b> | <b><i>Canalização ou tamponamento do trecho</i></b>                                                                                                                                                |   |
|            | Trecho sem canalização                                                                                                                                                                             | 0 |
|            | Presença de até 25% do trecho canalizado                                                                                                                                                           | 2 |
|            | Presença de 25% a 50% do trecho canalizado                                                                                                                                                         | 3 |
|            | Presença de mais de 50% do trecho canalizado                                                                                                                                                       | 5 |
| <b>3.4</b> | <b><i>Corte de meandros</i></b>                                                                                                                                                                    |   |
|            | Trecho sem alteração dos meandros                                                                                                                                                                  | 0 |
|            | Presença de até 25% do trecho com alteração nas sinuosidades do perfil longitudinal curso d'água.                                                                                                  | 2 |
|            | Presença de 25% a 50% do trecho com alteração nas sinuosidades do perfil longitudinal curso d'água                                                                                                 | 3 |
|            | Presença de mais de 50% do trecho com alteração nas sinuosidades do perfil longitudinal curso d'água                                                                                               | 5 |
| <b>3.5</b> | <b><i>Retirada da água sem modificação estrutural do curso d'água</i></b>                                                                                                                          |   |
|            | Não foram verificados sistemas de retirada d'água                                                                                                                                                  | 0 |
|            | Ocorre a remoção de água, por algum sistema de coleta                                                                                                                                              | 3 |
|            | Ocorre a remoção de água, por um ou diversos sistemas de coletas, causando grande impacto na vazão do curso d'água                                                                                 | 5 |
| <b>3.6</b> | <b><i>Retirada da água com modificação estrutural do curso d'água</i></b>                                                                                                                          |   |
|            | Não foram verificados desvios no curso d'água                                                                                                                                                      | 0 |
|            | Ocorre desvio no curso d'água, para utilização em alguma atividade (Agricultura, indústria, etc.)                                                                                                  | 5 |
| <b>3.7</b> | <b><i>Obstruções por pontes e travessias inadequadas</i></b>                                                                                                                                       |   |
|            | Não existem obras                                                                                                                                                                                  | 0 |
|            | Não ocorre estrangulamento da seção transversal                                                                                                                                                    | 1 |
|            | Ocorre estrangulamento da seção transversal                                                                                                                                                        | 3 |
|            | Ocorre estrangulamento da seção transversal e acúmulo de sedimentos                                                                                                                                | 5 |
| <b>4</b>   | <b><i>Presença de Contaminantes Sólidos ou Líquidos</i></b>                                                                                                                                        |   |
| <b>4.1</b> | <b><i>Presença de resíduos sólidos depositados nas margens ou no leito menor do curso d'água</i></b>                                                                                               |   |
|            | Ausência ou quantidade insignificante de resíduos                                                                                                                                                  | 0 |
|            | Resíduos sólidos com pequenas dimensões, com possibilidade de remoção manual (sacolas, embalagens, garrafas pet e dimensões semelhantes)                                                           | 1 |

|            |                                                                                                                                                                                                   |   |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|            | Resíduos sólidos com grandes dimensões, sendo necessário o uso de maquinário para remoção (mobiliários, eletrodomésticos, pneus e dimensões semelhantes)                                          | 3 |
|            | Resíduos diversos contaminados (Lixo doméstico com possibilidade de produção de chorume, embalagens com produtos químicos entre outros)                                                           | 5 |
| <b>4.2</b> | <b><i>Lançamento de efluentes, conexões de esgoto</i></b>                                                                                                                                         |   |
|            | Não foram verificados pontos de lançamento em todo o curso d'água.                                                                                                                                | 0 |
|            | Presenças de poucos pontos pontuais de lançamento de efluentes domésticos, com pequena vazão em relação ao curso d'água.                                                                          | 3 |
|            | Presença de diversos pontos de lançamento; pontos com vazões consideráveis em relação ao curso d'água; atividades comerciais; atividades indústrias com lançamento de efluentes no corpo receptor | 5 |
| <b>4.3</b> | <b><i>Lançamento de águas pluviais urbanas</i></b>                                                                                                                                                |   |
|            | Não foi visualizado despejo de esgoto em conjunto com a água pluvial                                                                                                                              | 0 |
|            | Fica evidente o lançamento de efluente doméstico em conjunto com a água pluvial                                                                                                                   | 5 |
| <b>5</b>   | <b><i>Infraestrutura urbana</i></b>                                                                                                                                                               |   |
| <b>5.1</b> | <b><i>Presença de edificações residenciais, comerciais, industriais ou da administração pública</i></b>                                                                                           |   |
|            | Ausência de Impermeabilização                                                                                                                                                                     | 0 |
|            | Até 10% de impermeabilização                                                                                                                                                                      | 1 |
|            | De 10% a 25% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                       | 2 |
|            | De 25% a 50% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                       | 3 |
|            | De 50% a 75% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                       | 4 |
|            | Mais de 75% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                        | 5 |
| <b>5.2</b> | <b><i>Presença de áreas de esporte, lazer ou infra-estrutura pública</i></b>                                                                                                                      |   |
|            | Ausência de Impermeabilização                                                                                                                                                                     | 0 |
|            | Até 10% de impermeabilização                                                                                                                                                                      | 1 |
|            | De 10% a 25% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                       | 2 |
|            | De 25% a 50% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                       | 3 |
|            | De 50% a 75% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                       | 4 |
|            | Mais de 75% de impermeabilização do trecho                                                                                                                                                        | 5 |

Como observado na tabela, cada categoria apresenta um índice de impacto que pode variar de 0 a 5, sendo o valor 5 o de maior impacto e zero uma área próximo da estabilidade e sem alterações.

## 2.3 Análise e identificação dos índices de degradação

A primeira etapa do trabalho, antes do levantamento de campo para a análise e registro dos indicadores para avaliação da degradação, foi contemplada por levantamento bibliográfico sobre temas pertinentes a estudos em bacias hidrográficas urbanas, aplicações do Método Delphi e sobre as características ambientais da área de estudo. Posteriormente, foram feitos os trabalhos de campo para análises dos parâmetros de degradação, utilizando a matriz proposta por Freitas Filho (2010) e técnicas de análise espacial em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), sendo utilizado nesse estudo o programa Arcgis 10.3 (ESRI, 2015), conforme descrito a seguir.

Seguindo a tabela 1, o item 1.1, **Corte ou remoção da vegetação** foi calculado a partir da delimitação das áreas de APP (Área de Preservação Permanente) de margem de cursos d'água (BRASIL, 2012) e do mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo nesses ambientes. Para a identificar o curso d'água e delimitar a área da bacia hidrográfica, utilizou-se o algoritmo *Hydrology* disponível na extensão *Spatial Analyst Tools*, disponível no programa ArcGIS 10.3 (ESRI, 2015), que extrai essas informações do MDE (Modelo Digital de Elevação) produzido utilizando imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Topodata, conforme procedimento proposto por Santos (2013).

Após a obtenção da rede de drenagem, delimitou-se a faixa de 30 metros de área de APP às margens do córrego Chafariz, utilizando a ferramenta *buffer* disponível no ambiente de edição do programa. Em seguida mapeou-se a cobertura vegetal e uso do solo através da interpretação visual de imagens de alta resolução espacial disponíveis na plataforma Google Earth (GOOGLE EARTH, 2015) em ambiente SIG. Essas informações foram posteriormente verificadas e validadas em atividades de campo. A partir dessas análises, identificou-se ainda o grau de **Substituição parcial ou total da vegetação nativa por espécies exóticas**, a **Presença de edificações residenciais, comerciais, industriais ou da administração pública** e a **Presença de áreas de esporte, lazer ou infra-estrutura pública** (Tabela 1).

Para a compreensão sobre a **Canalização ou tamponamento do trecho e Corte de meandros** (Tabela 1) utilizou-se ferramenta *régua* da plataforma Google Earth Pro (GOOGLE EARTH, 2015) para a delimitação dos trechos de canalização, corte de meandro e o cálculo de distância entre os trajetos. Essas informações foram posteriormente validadas em campo.

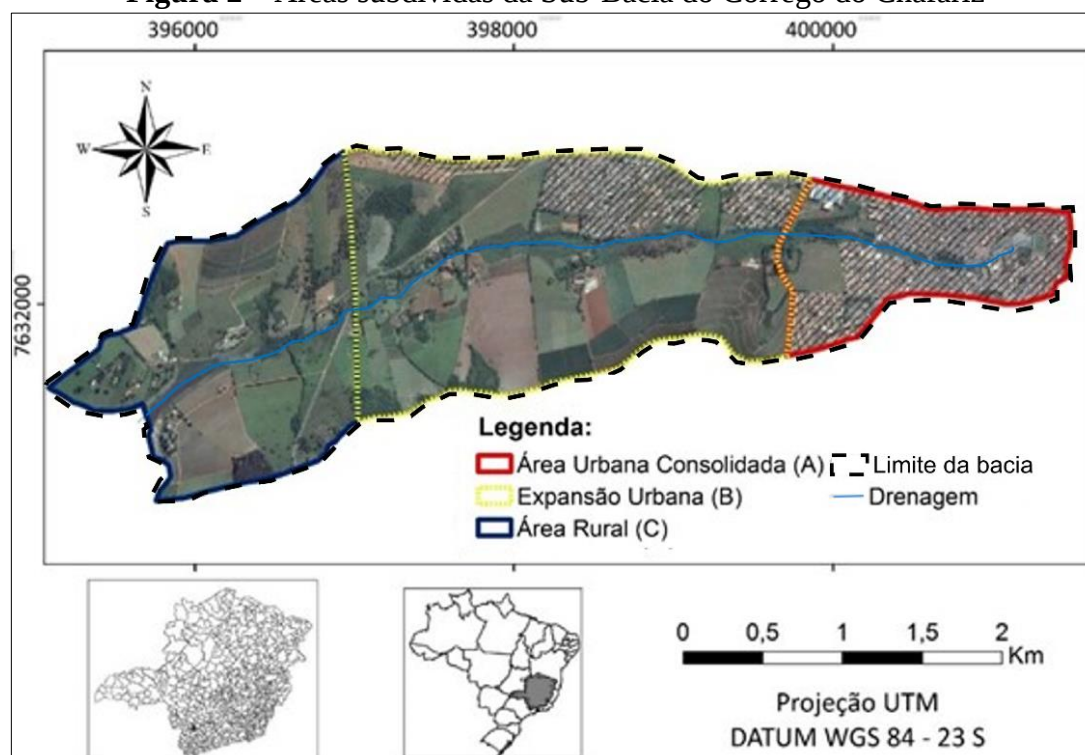
Os demais indicadores citados na tabela 1 foram obtidos por meio de análise detalhada dos parâmetros de avaliação em campanhas de campo, sendo utilizado a matriz de campo, câmera fotográfica e GPS GARMIM ETREX.

Após a identificação dos parâmetros, e seus respectivos valores, o grau de degradação foi calculado utilizando os pesos e valores de impacto de cada indicador (Tabela 1) conforme método Delphi proposto por Freitas Filho (2010). Segundo esse autor, o método Delphi é calculado, primeiramente, pela multiplicação do peso ajustado com os valores de impacto classificados para cada parâmetro. Finalmente, foi feita a somatória dos valores multiplicados, peso ajustado x valores de impacto, definindo assim, o valor do Índice de Degradação (ID), que pode variar entre 0 e 9360.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foram realizadas atividades de reconhecimento de campo, sendo observado que a área de estudo apresenta níveis diferentes de ocupação e adensamento urbano. Com isso, decidiu-se dividir a bacia em 3 porções para uma melhor compreensão e aplicação do método (Figura 2).

**Figura 2** – Áreas subdividas da Sub-Bacia do Córrego do Chafariz



A porção urbana consolidada (A), com área de 11,1 ha (29,1%), o segmento B compreende uma área de 17,6 ha (46,2 %), correspondendo ao trecho de expansão urbana e o seguimento C a área rural (ausência de edificações) com área de 9,4 ha (24,7%), resultando num total de 38,1 ha. Os indicadores de degradação e as características de cada seguimento serão apresentados e discutidos tendo como base as cinco categorias indicadas na tabela 1.

### 3.1 Alterações na cobertura vegetal

Essa categoria é composta pelos indicadores de **1.1 (Corte ou remoção da vegetação)** e **1.2 (Substituição parcial ou total da vegetação nativa por espécies exóticas)** (o predomínio de espécies exóticas são gramíneas para pastagem e plantas de cultivos anual e perene). Mesmo nas áreas não urbanizadas esses indicadores apresentaram valores elevados, mostrando que a urbanização não seria o principal agente de substituição ou remoção da cobertura vegetal. Assim, a porção de urbanização consolidada (A) e a Área Rural (C) apresentaram classificação 4 de índice de impacto para ambos os indicadores. Na unidade de expansão (B) atingiu o valor máximo de impacto (5) referente a remoção da vegetal nativa e obteve o índice 4 para o item 1.2.

Essas características evidenciam que as atividades agropastoris também podem ser um agente de geração de impacto em ambientes urbanos, principalmente nas áreas periurbanas, que funcionam num misto de edificações e de produção rural.

### 3.2 Processos erosivos e assoreamento

Esse tópico corresponde aos itens **2.1 (Processos erosivos visíveis nas margens)**, **2.2 (Presença de sedimentos nas margens)** e **2.3 (Obstrução do leito por acúmulo de sedimentos)** que abordam sobre a ocorrência dos diversos tipos de processo erosivos (laminares, lineares ou desmoronamento da margem fluvial), que ocasionam o acúmulo de material sedimentar no leito dos rios, que podem provocar a obstrução do fluxo superficial. De modo geral, esses aspectos foram pouco identificados na área, obtendo valores baixos, tendo somente a porção intermediária da bacia (B) atingido o índice 4 de impacto do item 2.1, devido a ocorrência de ravinamentos (Figura 3A). Os demais indicadores apresentaram o valor 2 em todas as unidades da bacia, mostrando que apesar de ter obtido valores elevados nos indicadores de alteração na cobertura vegetal, os impactos verificados foram em pequena escala, principalmente no registro de erosão laminar e acúmulo de sedimentos próximo de pontes no seguimento B (Figura 3B).

**Figura 3** – Pontos de ravinamentos (A) e acúmulo de sedimentos (B) próximo de pontes na subarea B



Apesar dos valores baixos observados nesse tópico, considera-se que os processos erosivos verificados na sub-área B, precisam de intervenções no sentido que recompor a mata ciliar e estabilizar os processos, que se encontram parcialmente ativos.

### 3.3 Implementação de infraestrutura física

Esse tópico corresponde à interferência e/ou implementação de infraestrutura física no leito do córrego, tais como a canalização, retificação, obstrução por pontes, entre outros problemas.

Através dos levantamentos realizados verificou-se que a porção a montante (A) apresenta alterações significativas no canal fluvial, obtendo o valor de impacto 5 nos itens 3.1, 3.2, 3.4 e a nota 4 no item 3.3 (Tabela 1). A subárea “A” possui 1582 m de extensão, sendo que 24,6 % (389 m) está canalizado e 62% (982 m) está retificado. Nas demais áreas não se observou alterações nos indicadores acima citados, obtendo nota 0 como valor de impacto.

Para o item 3.5 (**Retirada da água sem modificação estrutural do curso d'água**) foi observado a retirada de água apenas para a estação elevatória COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais na subárea “B”. Assim a classificação do nível de impacto para esse item foi 3 para a seção B e 0 para A e C.

Em relação ao item 3.6. (**Retirada da água com modificação estrutural do curso d'água**), não foi observado desvio no curso d'água. Assim, a classificação do nível de impacto para esse item foi 0 para todas as subáreas (Tabela 1).

Já no item 3.7 (**Obstruções por pontes e travessias inadequadas**) foram observadas diversas pontes ao longo do trajeto do córrego do chafariz, com acúmulo de sedimentos em todas as subáreas (Figuras 4), obtendo o valor 5 para a classificação do nível de impacto.

**Figura 4** – Interrupções no curso d'água e acúmulo de sedimento



### 3.4 Presença de contaminantes sólidos ou líquidos

Para o item 4.1. (**Presença de resíduos sólidos depositados nas margens ou no leito menor do curso d'água**), nas campanhas de campo foram observados em diversos pontos a presença de resíduos em pequena escala (Figuras 5), sendo mais intensos nas subáreas “A” e “B”. Com isso, atribuiu-se o valor de impacto 3 para as seções a montante (A, B) o valor 1 para o trecho C.

No geral, notou-se que às margens dos córregos são pouco utilizadas para o lançamento de resíduos sólidos, sendo observado principalmente lixo doméstico (Figura 5A) e restos de construção (Figura 5B). Porém, mesmo em pequena escala essa prática se constitui num problema socioambiental, atingindo não somente o equilíbrio ecológico da bacia, mas também tendo

consequências sanitárias, devido a proliferação de vetores de doenças (ratos, baratas, escorpiões, mosquitos, entre outros).

**Figura 5** – Lançamento de lixo doméstico (A) e restos de construção (B) às margens do córrego Chafariz. Seta vermelha indica o local de um depósito de lixo doméstico



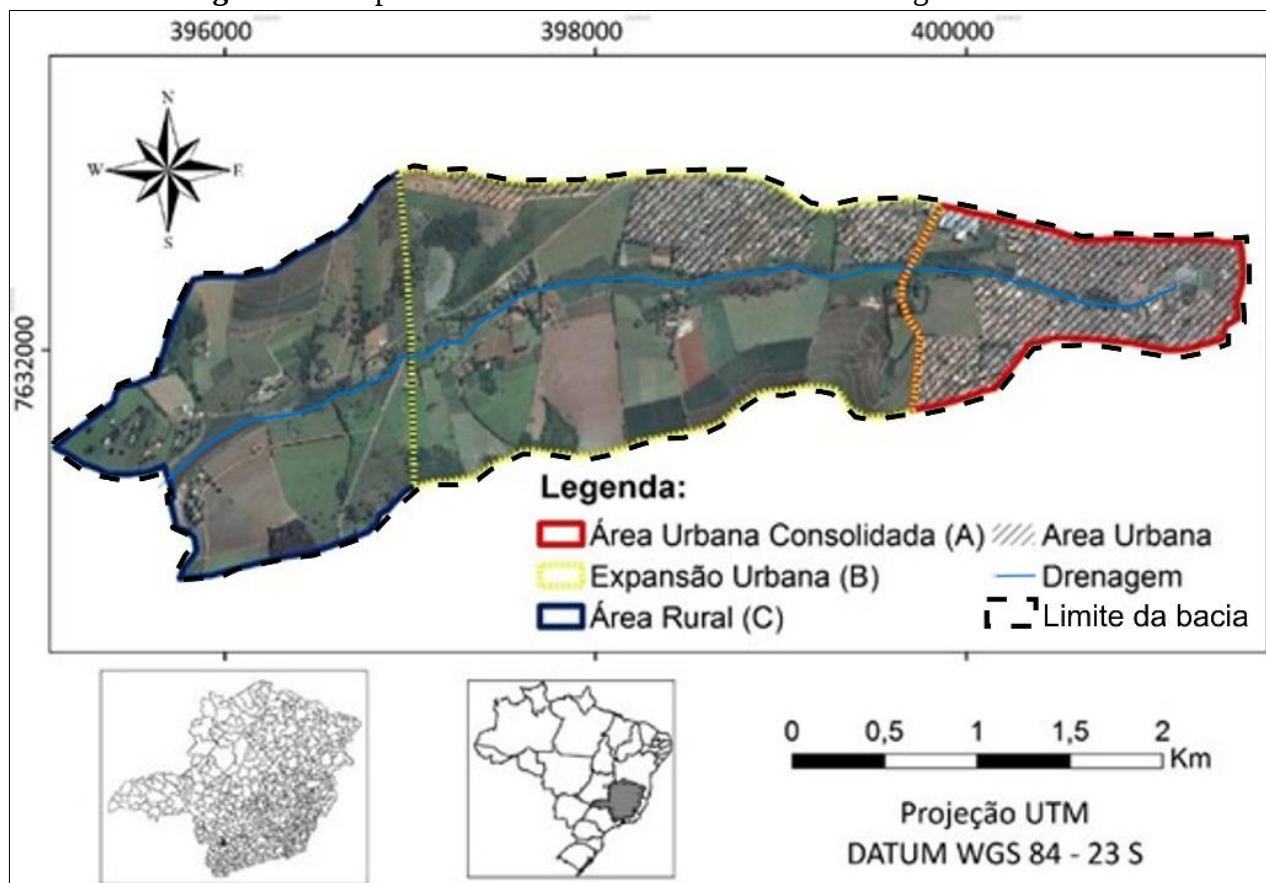
Em relação ao item **4.2. (Lançamento de efluentes, conexões de esgoto)** foi observado presença de pontos de lançamento de efluentes domésticos, com pequena vazão em relação ao curso d'água apenas nas subareas “A” e “B”. Para tanto, a classificação do nível de impacto para esse item é 3 para “A” e “B” e 0 para “C” (Tabela 1).

No item **4.3. (Lançamento de águas pluviais urbanas)**, se observar que nos trechos mais próximo a jusante do córrego, subarea C, o lançamento de efluentes de coloração escura, evidencia a presença de poluentes no curso d'água, porém não foi possível identificar a origem. Assim, a classificação do nível de impacto para esse item é 5 para “C” e 0 para “A” e “B”.

### 3.5 Infraestrutura urbana

Esse tópico corresponde as alterações provocadas pela presença de edificações urbanas ao longo da bacia, sendo representados pelos indicadores **5.1 (Presença de edificações residenciais, comerciais, industriais ou da administração pública)** e **(5.2 Presença de áreas de esporte, lazer ou infra-estrutura pública)** (Tabela 1). Os valores de impactos para esses indicadores foram obtidos da mesma maneira que os itens **1.1 e 1.2**. Para tanto, com o mapa de área urbana da bacia do Córrego do Chafariz (Figura 6) e utilizando as ferramentas de cálculo de área do programa ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014) observa-se que 80% (369,2 ha) da seção A e 37% (121,7 ha) da seção B estão impermeabilizadas pelas edificações.

Através de análises de campo avaliou-se que a subárea A pode ser enquadrar no valor de impacto 5 e na porção B, o valor de impacto 3 para ambos os indicadores (5.1 e 5.2). Na porção C não se observa edificações implementadas, por ser uma área periurbana com características agropastoris, como citado anteriormente.

**Figura 6** – Mapa da área urbana da Microbacia do Córrego do Chafariz

### 3.6 Índice de degradação da área de estudo

Com os indicadores de degradação descritos acima, e seus respectivos valores, calculou-se através do método Delphi o Índice de Degradação (ID) para cada subárea da bacia do Córrego do Chafariz conforme a Tabela 2, tendo como base a proposta de Freitas Filho (2010) e Rigotti e Pompêo (2011).

**Tabela 2** – Valores do peso e do impacto e a multiplicação para o cálculo de ID

| Parâmetros                                                          | Peso Ajustado | Impactos Classificados |     |     | Peso x Impacto = ID |       |       |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|-----|-----|---------------------|-------|-------|
|                                                                     |               | "A"                    | "B" | "C" | "A"                 | "B"   | "C"   |
| 1.1. Corte ou remoção da vegetação                                  | 192,11        | 4                      | 5   | 4   | 768,4               | 960,6 | 768,4 |
| 1.2. Substituição parcial da vegetação nativa por espécies exóticas | 71,42         | 4                      | 4   | 4   | 285,7               | 285,7 | 285,7 |
| 2.1. Processos erosivos visíveis nas margens                        | 100,98        | 2                      | 4   | 2   | 202,0               | 403,9 | 202,0 |
| 2.2. Presença de sedimentos nas margens                             | 66,96         | 2                      | 2   | 2   | 133,9               | 133,9 | 133,9 |
| 2.3. Obstruções do leito por acúmulo de sedimentos                  | 101,79        | 2                      | 2   | 2   | 203,6               | 203,6 | 203,6 |
| 3.1. Retificação da seção transversal                               | 95,07         | 5                      | 0   | 0   | 475,4               | 0     | 0     |
| 3.2. Mudança de revestimento da seção transversal                   | 102,13        | 5                      | 0   | 0   | 510,7               | 0     | 0     |
| 3.3. Canalização ou tamponamento do trecho                          | 136,82        | 3                      | 0   | 0   | 410,5               | 0     | 0     |
| 3.4. Corte de meandros                                              | 91,86         | 5                      | 0   | 0   | 459,3               | 0     | 0     |

|                                                                                             |        |   |   |   |               |               |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---|---|---|---------------|---------------|--------------|
| 3.5. Retirada da água sem modificação estrutural do curso d'água                            | 48,18  | 0 | 3 | 0 | 0             | 144,5         | 0            |
| 3.6. Retirada da água com modificação estrutural do curso d'água                            | 100,85 | 0 | 0 | 0 | 0             | 0             | 0            |
| 3.7. Obstruções por pontes e travessias inadequadas                                         | 68,09  | 5 | 5 | 5 | 340,5         | 340,5         | 340,5        |
| 4.1. Presença de resíduos sólidos depositados nas margens ou no leito do curso d'água       | 157,79 | 3 | 3 | 1 | 473,4         | 473,4         | 157,8        |
| 4.2. Lançamento de efluentes, conexões de esgoto                                            | 190,92 | 3 | 3 | 0 | 572,8         | 572,8         | 0            |
| 4.3. Lançamento de águas pluviais urbanas                                                   | 87,18  | 0 | 0 | 5 | 0             | 0             | 435,9        |
| Continuação                                                                                 |        |   |   |   |               |               |              |
| 5.1. Presença de edificações residenciais, comerciais, industriais ou administração pública | 200,46 | 5 | 3 | 0 | 1002,3        | 601,4         | 0            |
| 5.2. Presença de áreas de esporte, lazer ou infraestrutura pública                          | 59,54  | 5 | 3 | 0 | 297,7         | 178,6         | 0            |
| <b>Total</b>                                                                                |        |   |   |   | <b>6135,9</b> | <b>4298,8</b> | <b>25277</b> |

Portanto, o valor de ID para a subárea A foi de **6135,9**, **4298,8** para B e **25277** para a subárea C. Os resultados mostram que os problemas relacionados ao maior adensamento urbano elevam os valores de impacto dos parâmetros, enquadrando a seção A com o maior grau de degradação. Esse trecho da área pode ser caracterizada por fatores de degradação, tais como: menores taxas de infiltração, maior lançamento de resíduos sólidos, sedimentos, efluentes domésticos e industriais; retificação do curso do rio e desmatamento.

Os resultados obtidos na área de estudo são semelhantes ao observado por Freitas Filho (2010), quando os maiores valores de ID foram identificados em sub-bacias que tinham maior presença de área urbana, uma caracterizada com adensamento urbano residencial, que apresentaram os maiores valores, e outra por área industrial. Isso demonstra que o adensamento urbano é um viés para a degradação de bacias hidrográficas, sendo necessário compreender quais alterações estão sendo realizadas nesses ambientes e desenvolver a retirada de lixo e entulhos, incentivar o não descarte desses resíduos nas áreas de várzea, eliminar os lançamentos de efluentes domésticos e aumentar as áreas de infiltração e a permeabilidade dos ambientes urbanos, visando diminuir a produção de sedimentos e do escoamento superficial.

### 3.7 Recomendações

Diante dos resultados, segue abaixo algumas iniciativas que podem ser desenvolvidas para remediar ou prevenir os problemas observados na área de estudo:

- Recomposição de matas ciliares numa faixa de 30 m ao longo da bacia. Essa iniciativa auxilia na melhora da infiltração das águas pluviais, reduzindo a ocorrência de enchentes e inundações, bem como, auxilia no reequilíbrio ambiental e da dinâmica fluvial da bacia;
- Recuperação dos processos erosivos lineares observados na subárea B e os laminares nos demais trechos. A estabilização desses processos reduz a remoção de material sedimentos dos ambientes, evitando o assoreamento do córrego, que pode atuar como um fator intensificador de enchentes;

- Desenvolver campanhas de retirada de resíduos sólidos e sensibilizar a comunidade no entorno sobre os problemas socioambientais decorrentes da deposição de lixo nas proximidades do córrego;
- Eliminar os pontos de lançamento de fluentes domésticos.

Todas as ações acima mencionadas podem fazer parte de um projeto maior para a toda a bacia, considerando a revitalização priorizando a dinâmica fluvial. No entanto, pode ser uma área urbana, essas iniciativas podem ser compartilhadas com interesses sociais. Nesse sentido, a concepção dos parques lineares pode ser uma proposta a ser implementada para o córrego Chafariz, pois a configuração retilínea da bacia e as alterações observadas na área, permitem a conciliação entre a conservação ambiental e a apropriação da comunidade através de ambientes de lazer e convivência.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia empregada nesse trabalho possibilitou identificar quais fatores de degradação apresentaram maior relevância ao longo da bacia, nos trechos analisados, considerando as cinco categorias de degradação do método proposto por Freitas Filho (2010). A aplicação desse método nos auxilia na identificação de prioridades na tomada de decisão sobre intervenções a serem implementadas.

As análises realizadas mostraram que mesmo em cidades de porte médio como Alfenas-MG, o adensamento urbano causa problemas ambientais nas bacias e hidrográficas, que funcionam apenas como ambientes de lançamento de águas pluviais, pois efetuou alterações que visando apenas controlar esses fluxos. As alterações observadas evidenciam que o poder público municipal desconsidera a função ambiental dos ambientes fluviais e isso pode intensificar a ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como as enchentes e inundações.

Considera-se ainda que utilização dos métodos e técnicas desenvolvidas no presente estudo, podem servir de base para estudos nas outras bacias hidrográficas da área urbana de Alfenas-MG, principalmente, por ser de baixo custo operacional e ser eficiente na avaliação da degradação ambiental das bacias hidrográficas. Essas informações são fundamentais para a discussão sobre o uso e ocupação do solo urbano, bem como na definição de diretrizes políticas que estruturam o ordenamento territorial no município.

#### REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Formas de Relevo**: texto básico. São Paulo: Edart, 1975. 80p.

ALFENAS. PREFEITURA MUNICIPAL DE ALFENAS. **Leitura Técnica do Plano Diretor de Alfenas – MG**. Alfenas: Prefeitura Municipal de Alfenas, 2006. 189p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Sapucaí**: Estados de Minas Gerais e São Paulo relatório final de geologia. DNPM/CPRM, 1979.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm)>. Acesso em: 15 mai. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Região sob Influência do Reservatório de Furnas**. Boletim técnico nº 13 do Serviço Nacional de Conservação dos Solos. Rio de Janeiro, 1962.

DALLA COSTA, S.; POMPÊO, C. A. Revitalização de cursos d'água em áreas urbanas: caracterização e avaliação da degradação ambiental na zona de proteção legal do Rio Córrego Grande. In: II Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste. **Anais...** CD-ROM, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro. 2008.

ESRI. 2015. **ArcGIS for Desktop**. Versão 10.3. Programa de Computador. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

FINKLER, R. Unidade 1: A Bacia Hidrográfica. In: **Planejamento, Manejo e Gestão de Bacias**. 2012. Disponível em: <[http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias\\_hidrograficas/planejamento\\_manejo\\_e\\_gestao\\_unidade\\_1.pdf](http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2015.

FREITAS FILHO, M. D. **Indicadores de degradação de cursos d'água em áreas urbanas**. 2010. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) UFSC, Florianópolis, 2011.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Implicações Ambientais na Área Metropolitana de Porto Alegre - RS: Um Estudo Geográfico com Ênfase na Geomorfologia Urbana. **Rev. GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, 2002, n.12, p.141-177.

GOOGLE EARTH. 2015. **Imagem de Satélite de Boa Esperança (MG)**. Programa de Computador. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

HASUI, Y. A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional. **UNESP, Geociências**, 2010, v. 29, n. 2, p. 141-169.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Plataforma IBGE. **Cidades@**. Alfenas. 2015. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/235MX>>. Acessado em: 10 out. 2015.

MINAS GERAIS. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Empresa de Pesquisas Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, 2010.

OECD. **Environment Indicators - Development, Measurement and Use**: OECD 2003 Reference Paper, Paris. Disponível em: <<http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>>. Acessado em: 10 ago. 2015.

PEREIRA, C. D.; HENRIQUES NETO, D.; GONÇALVES, M. K.; FREITAS FILHO, M. D.; POMPÊO, C. A. Caracterização da degradação na faixa de proteção legal do rio do Meio, em Florianópolis, Santa Catarina. In: Congresso Ibero-Americano e do Caribe sobre Restauração Ecológica. **Anais...** CD-ROM, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, Curitiba, PR, 2009.

RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. Estudo de revitalização de cursos d'água: bacia hidrográfica do futuro campus UFSC, JOINVILLE - SC. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19, 2011, **Anais...**, Natal.

SANTOS, J. **ArcGIS 10.1**: Super Análise Hidrológica com Spatial Analyst. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2013/05/07/arcgis-10-1-super-analise-hidrologica-com-spatial-analyst/>>. Acessado em: 15 out. 2014.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, 2000, v. 1, n. 12, p. 54-65.

**Data de submissão:** 18.01.2016

**Data de aceite:** 09.08.2017

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.