

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus Rio Claro

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

ÍNDICE DE GEOCONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE  
FUNCIONAL: PROPOSTA TEÓRICO-METODOLÓGICA APLICADA  
AS SUB-BACIAS ÁGUA QUENTE E ÁGUA FRIA, SÃO CARLOS-SP

Aluna: Geisy Candido da Silva

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro – SP  
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus Rio Claro

Geisy Candido da Silva

**ÍNDICE DE GEOCONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE  
FUNCIONAL: PROPOSTA TEÓRICO-METODOLÓGICA APLICADA  
AS SUB-BACIAS ÁGUA QUENTE E ÁGUA FRIA, SÃO CARLOS-SP**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador:  
Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro – SP  
2018

S586i

Silva, Geisy Candido da

Índice de geoconservação da geodiversidade funcional: : proposta teórico-metodológica aplicada as sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP / Geisy Candido da Silva. -- Rio Claro, 2018  
75 p. : il., tabs., mapas + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro  
Orientador: José Eduardo Zaine

1. Análise integrada da paisagem. 2. Geoprocessamento. 3. Geodiversidade funcional. 4. Geoconservação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

GEISY CANDIDO DA SILVA

ÍNDICE DE GEOCONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE FUNCIONAL:  
PROPOSTA TEÓRICO-METODOLÓGICA APLICADA AS SUB-BACIAS  
ÁGUA QUENTE E ÁGUA FRIA, SÃO CARLOS-SP

Dissertação de Mestrado apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

José Eduardo Zaine (orientador)

Fabio Augusto Gomes Vieira Reis

Mara Lúcia Marques

Rio Claro, 04 de Outubro de 2018.

Resultado: Aprovado.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por guiar e iluminar meu caminho.

A minha querida mãe, pelo apoio, incentivo, dedicação, perseverança e por auxiliarme em diversas escolhas da vida, direcionando-me aos melhores caminhos e ao meu pai, que vigia meus caminhos antes que eu os percorra, estando distante e ao mesmo tempo tão perto em minha eterna saudade.

Ao professor José Eduardo Zaine, pelos ensinamentos, paciência, persistência, dedicação, amizade e orientação em todo o período do mestrado, apoiando as ideias da pesquisa e ajudando em todos os momentos, por mais apertado que estivessem os prazos.

Aos amigos e companheiros de pesquisa que fiz nessa jornada, por estarem ao meu lado durante este trajeto, no qual em muitos momentos a pesquisa mostrou-se solitária e ao mesmo tempo inspiradora.

Ao meu esposo Willian por acreditar sempre que eu iria conseguir concluir essa etapa mesmo com todas as dificuldades, desafios e mudanças que ocorreram nesse curto período de tempo.

A Rosangela que nos momentos mais complicados, sempre teve uma solução para tudo e uma palavra amiga para confortar situações que pareciam insuperáveis.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos, deixo o meu muito obrigado.

*“... O céu é o limite...”*

## LISTA DE FIGURA

<b>Figura 1-</b> Estudos referentes à geodiversidade classificados por países, publicados até o ano de 2017. ....	17
<b>Figura 2-</b> Estudos referentes à geoconservação classificados por países, publicados até o ano de 2017. ....	17
<b>Figura 3-</b> Fluxograma dos materiais e métodos utilizados no estudo. ....	30
<b>Figura 4 -</b> Localização das microbacias Água Quente e Água Fria no município de São Carlos-SP. ....	36
<b>Figura 5-</b> Mapa temático de documentação de pontos. ....	39
<b>Figura 6-</b> Mapa de declividade, das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP. ....	42
<b>Figura 7-</b> Mapa de compartimentação fisiográfica das sub-bacias Água Quente e Água Fria, do município de São Carlos-SP. ....	43
<b>Figura 8-</b> Área característica da unidade Planalto, localizada na sub-bacia Água Quente, São Carlos-SP. ....	44
<b>Figura 9-</b> Feição representativa da unidade de morros estreitos e alongados, localizadas em uma pedreira desativada na sub-bacia Água Quente. ....	45
<b>Figura 10 -</b> Encosta íngreme da sub-bacia Água Quente, município de São Carlos-SP. ....	46
<b>Figura 11-</b> Mapa da Geodiversidade Funcional das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP. ....	50
<b>Figura 12-</b> Usos e coberturas da terra, das sub-bacias Água Quente e Água Fria, de São Carlos-SP, em 1978. ....	51
<b>Figura 13-</b> Usos e Coberturas da terra das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP no ano de 2017. ....	52
<b>Figura 14-</b> Mapa Índice da Geoconservação da Geodiversidade Funcional, nas sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP. ....	54
<b>Figura 15-</b> Zonas do Plano Diretor municipal que abrangem a área de estudo. ....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> -Alguns tipos de usos e coberturas da terra e seus principais contaminantes. .	26
<b>Tabela 2</b> - Dados comparativos das porcentagens de usos e ocupações da terra nos anos de 1978 e 2017, das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP. ....	53

## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	6
1 INTRODUÇÃO .....	7
2. OBJETIVOS .....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
3.1 Análise Integrada da Paisagem e Bacias Hidrográficas.....	11
3.2 Compartimentação Fisiográfica e Sensoriamento Remoto.....	13
3.3 Geodiversidade.....	15
3.5 Características Gerais da Geodiversidade Funcional .....	20
3.6 Geodiversidade Funcional e as Águas Subterrâneas .....	22
3.7 Vulnerabilidade, Fragilidade Ambiental e Usos e Coberturas do Solo .....	24
3.8 Geoconservação da Geodiversidade Funcional.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Metodologia .....	30
4.1.1 Descrição da Estrutura do Método .....	31
4.2 Aplicação do Método na Área de Estudo .....	35
4.2.1 Caracterização das Sub-bacias Água Quente e Água Fria, município de São Carlos-SP .....	35
4.2.2 índice de Geoconservação da Geodiversidade Funcional.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
5.1 Compartimentação Fisiográfica e Caracterização das Zonas Homólogas.....	42
5.2 Análise multitemporal dos avanços antrópicos.....	51
5.3 índice de Geoconservação da Geodiversidade Funcional.....	54
5.4 Avaliação da Proposta Teórico- Metodológica.....	57
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
REFERÊNCIAS .....	60
APÊNDICE I – MAPA DE COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA .....	67
APÊNDICE II – MAPA ÍNDICE DA GEOCONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE FUNCIONAL, SUB-BACIAS ÁGUA QUENTE E ÁGUA FRIA, SÃO CARLOS-SP.....	69



## RESUMO

Os sistemas aquíferos brasileiros tem sofrido intensas intervenções antrópicas, as quais expõem o geossistema a degradação, principalmente no que remete-se as águas subterrâneas, com a superexploração, ao déficit de recarga e a contaminação, tornando a disponibilidade qualiquantitativa da água para o abastecimento de múltiplos usos reduzida gradativamente. Dentre os fatores que desencadearam esse cenário de crise hídrica, temos o planejamento urbano e rural desconexos das necessidades geoambientais, impactando diversos sistemas aquíferos brasileiros, dentre os quais podemos citar: o Itapecuru (PA), o Serra Grande (PI), o Urucuia (BA) e o Guarani (SP, MG, GO, MT, MS, PR, SC e RS), os quais estão localizados em áreas de expansão agropecuária, agroindustrial e de crescimento demográfico. Desta forma, ferramentas e diretrizes que possam auxiliar na geoconservação das águas subterrâneas são essenciais para a manutenção do geossistema, possibilitando que esse recurso atenda as atuais e as futuras gerações. Neste contexto, temos a geodiversidade funcional, que permite avaliar os recursos subterrâneos integrando-os a uma série de características geoambientais que condicionam a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas em diferentes paisagens. Assim, este estudo teve como objetivo desenvolver um índice de geoconservação da geodiversidade funcional, tendo como área de aplicação as sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP integrantes do Sistema Aquífero Guarani. Para tanto, pautou-se em revisão bibliográfica, expondo os principais conceitos bases para o desenvolvimento da estrutura teórico-metodológica, baseada na análise da paisagem por meio de fotointerpretação e delimitação de zonas homólogas, as quais foram descritas e associadas com suas propriedades hidrogeológicas, determinando o potencial e as fragilidades intrínsecas das unidades aquíferas presentes em um determinado território, resultando no mapa da geodiversidade funcional. Concomitantemente, propõe-se a elaboração de uma análise multitemporal da dinâmica dos usos e cobertura da terra da área em análise, determinando o potencial contaminante de cada uso identificado, resultando na avaliação dos avanços antrópicos na área e no mapa dos usos e coberturas da terra. Posteriormente, é preciso atribuir valores numéricos para cada classe presente no mapa de usos e cobertas da terra e no mapa de geodiversidade funcional, utilizando um intervalo de 1 a 5, necessários para aplicar-se a técnica *fuzzy* de geoprocessamento, unindo os dois mapas, resultando no mapa do índice da geoconservação da geodiversidade funcional, expressando as áreas que estão sofrendo maior impacto na geodiversidade funcional e necessidade de ações e estratégias para que possam ser geoconservadas. Essa sequência de etapas foram aplicadas nas sub-bacias do Córrego Água Quente e Água Fria, mostrando que o método é capaz de expressar as necessidades de geoconservação da geodiversidade funcional, possui potencial para auxiliar no planejamento rural e urbano, pode ser aplicado em diferentes escalas, possui banco de dados passível de modelagem e pode ser utilizado por gestores do setor público, adaptando e aprimorando essa ferramenta com o intuito de geoconservar as reservas de águas subterrâneas disponíveis em todo o território.

**Palavras chaves:** análise integrada da paisagem, geoprocessamento, geodiversidade funcional e geoconservação.

## ABSTRACT

Brazilian aquifer systems have undergone intense anthropogenic interventions, which expose the geosystem to degradation, especially in what refers to groundwater, overexploitation, recharge deficit and contamination, making the water availability quantitative for water supply. multiple uses gradually reduced. Among the factors that triggered this scenario of water crisis, we have urban and rural planning disconnected from geoenvironmental needs, impacting several Brazilian aquifer systems, among which we can mention: Itapecuru (PA), Serra Grande (PI), Urucuia (BA) and Guarani (SP, MG, GO, MT, MS, PR, SC and RS), which are located in agricultural, agroindustrial and demographic growth areas. In this way, tools and guidelines that can assist in the geoconservation of groundwater are essential for the maintenance of the geosystem, allowing this resource to meet current and future generations. In this context, we have the functional geodiversity, which allows to evaluate the subterranean resources integrating them to a series of geoenvironmental characteristics that condition the quality and quantity of groundwater in different landscapes. Thus, the objective of this study was to develop a functional geodiversity geoconservation index, using the Água Quente and Água Fria sub-basins, São Carlos-SP, which are members of the Guarani Aquifer System. For this, it was based on a bibliographical review, exposing the main concepts for the development of the theoretical-methodological structure, based on landscape analysis through photointerpretation and delimitation of homologous zones, which have been described and associated with its hydrogeological properties, determining the potential and the intrinsic fragilities of the aquifer units present in a given territory, resulting in the functional geodiversity map. Concomitantly, it is proposed to prepare a multitemporal analysis of the dynamics of the land uses and coverage of the area under analysis, determining the contaminant potential of each identified use, resulting in the evaluation of the anthropic advances in the area and the map of land uses and coverages. Subsequently, it is necessary to assign numerical values for each class present in the map of land uses and covers and in the functional geodiversity map, using a range of 1 to 5, necessary to apply the fuzzy technique of geoprocessing, joining the two maps, resulting in the geo-conservation index map of functional geodiversity, expressing the areas that are suffering the greatest impact on the functional geodiversity and the need for actions and strategies to be geoconserved. This sequence of steps was applied in the sub-basins of Água Quente and Água Fria, showing that the method is capable of expressing geoconservation needs of functional geodiversity, has potential to assist in rural and urban planning, can be applied at different scales, has a modelable database and can be used by public sector managers, adapting and improving this tool in order to geoconserve the groundwater reserves available throughout the territory.

**Keywords:** integrated landscape analysis, geoprocessing, functional geodiversity and geoconservation.

## 1 INTRODUÇÃO

---

No Brasil, as ações que contribuem para a conservação da natureza estão dirigidas, quase que somente, à fauna e à flora, desconsiderando que as características dos diferentes domínios fitofisiográficos estão relacionadas à variedade dos ambientes geológicos, os quais são responsáveis por sustentar o desenvolvimento da biodiversidade (NASCIMENTO et al., 2008).

Apesar desta dependência natural, as políticas públicas de conservação, divulgação e utilização do patrimônio natural tendem a priorizar a biodiversidade em detrimento da geodiversidade (NASCIMENTO et al., 2008), expondo-a degradação.

Segundo Brilha (2005) e Salvan (1994), a maior parte das ameaças de degradação da geodiversidade estão vinculadas à falta de conhecimento científico, tanto dos responsáveis políticos e técnicos, quanto do público em geral, acarretando em sua proteção e conservação casual, contida entre os valores biológicos, estéticos e culturais, ao invés de ser por seu próprio valor científico.

Todavia, para conservar algo, é necessário que este esteja diretamente relacionado à atribuição de algum valor de importância antrópica, sendo classificáveis em intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e educativo (MUNÕZ, 1988; GRAY, 2004; BRILHA, 2005; NASCIMENTO et al., 2008).

Dentre estes valores, o funcional destaca-se tanto na geodiversidade para sustentação dos sistemas físicos e ecológicos, quanto no armazenamento de substâncias no solo, subsolo e nas rochas, como por exemplo, águas subterrâneas, turfas, minerais, gás natural, petróleo, dentre outras (NASCIMENTO et al., 2008).

Diante disso, a exploração da geodiversidade funcional coloca em risco a provisão dos serviços geossistêmicos, o que remete diretamente a conflitos socioeconômicos, seja pela escassez de água, seja pela escassez das reservas minerais, posto que possuem caráter utilitário para a humanidade.

A literatura contemporânea que envolve esta temática limita-se a descrever as características da geodiversidade funcional, integrando-a em contextos de expressões e aplicações específicas da geodiversidade, como por exemplo, *geossítios*, que representam as particularidades de distintas localidades.

A amplitude desta temática mostra-se bastante promissora cientificamente, pois possui espaço para que métodos sejam desenvolvidos, aplicados e replicados na busca de compreender e aprimorar este campo de pesquisa.

Assim, dentre os diferentes aspectos da geodiversidade funcional citados anteriormente, as águas subterrâneas compõem uma das substâncias de valor utilitário mais exploradas, posto que este recurso possui viabilidade qualiquantitativa e econômica para a exploração, abastecendo cidades de pequeno, médio e grande porte integralmente ou parcialmente; além de suprimir necessidades agrícolas, industriais, de lazer e de turismo (GOMES, 2008).

A importância socioeconômica e ambiental desta substância compôs o fator decisório de manter o objetivo deste estudo direcionado a geodiversidade funcional, a qual é formada por um conjunto de características geoambientais que determinam o potencial de armazenamento e distribuição das águas subterrâneas e encontra-se ameaçada em decorrência dos múltiplos usos antrópicos, tanto pela superexploração e déficit de recarga, quanto pela contaminação proveniente do desenvolvimento das atividades urbanas e rurais.

Existem diversos sistemas aquíferos expostos a esta condição, como por exemplo, o Itapecuru (PA), o Serra Grande (PI), o Urucuaia (BA) e o Guarani (SP, MG, GO, MT, MS, PR, SC e RS), os quais estão localizados em áreas de expansão agropecuária, agroindustrial e de crescimento demográfico (BORGHETT et al., 2004).

Diante dos conflitos existentes, é imprescindível o desenvolvimento de estudos que busquem metodologias e instrumentos de análise integrada do geossistema (SILVA, 2008), identificando e propondo medidas que evitem a degradação das rochas, solos, relevo, paisagem e conseqüentemente conservem as águas subterrâneas, garantindo sua qualidade para as atuais e futuras gerações (BRASIL, 1997).

Com base no conceito de geodiversidade, existem estudos que desenvolveram através da geociência instrumentos de análise da paisagem integrada utilizando o meio físico a serviço da conservação do meio natural e do planejamento territorial (DANTAS et al., 2015). Esses estudos buscam avaliar os impactos decorrentes da implantação das distintas atividades econômicas sobre o espaço geográfico, com vistas à conservação do patrimônio geológico.

Não distante do exposto, no Brasil, os estudos da geodiversidade também tem sido utilizados como uma ferramenta de gestão ambiental para o direcionamento da implantação das atividades econômicas (DANTAS et al., 2015).

Em contrapartida, Veiga (1999) propõe que os estudos da geodiversidade também podem ser aplicados às águas subterrâneas, expressando as particularidades do meio físico, que inclui rochas, relevo, clima, solos, morfologia da paisagem, diversidade biológica e cultural.

Apesar de bastante complexa, essa definição inclui claramente a importância da água subterrânea e sua integração com a geodiversidade, a qual é denominada de geodiversidade funcional, pois permite desenvolver a abordagem do geossistema, como fornecedor de serviços geossistêmicos (águas subterrâneas, minerais, petróleo, turfa, gás natural, energia térmica, etc).

Neste contexto, este estudo prevê resgatar a interface da geodiversidade funcional relacionada às águas subterrâneas explorando os aspectos relacionados às diferentes unidades aquíferas (MUNÕZ, 1988; GRAY, 2004; BRILHA, 2005; NASCIMENTO et al., 2008).

Para que esta abordagem possa ser trabalhada, é importante salientar que a geodiversidade funcional expressa-se por meio das diferentes unidades aquíferas presentes em um determinado território, posto que as mesmas possuem distintas características relacionadas às propriedades hidrogeoquímicas, relações da recarga e descarga, permeabilidade e capacidade de armazenamento e transição das águas subterrâneas.

Incluir estes dados nas análises do meio físico possibilita que a gestão e o planejamento territorial sejam feitos considerando fatores extremamente complexos que envolvem um emaranhado de aspectos sociais, econômicos e ambientais, os quais dependem da disponibilidade e da qualidade dos recursos hídricos, uma vez que estes são essenciais para a manutenção da biota e para o desenvolvimento de atividades antrópicas.

Portanto, a geodiversidade funcional precisa ser caracterizada, descrita, disseminada e considerada nos estudos de análise do meio físico, possibilitando que medidas adequadas de geoconservação sejam implementadas, contribuindo para a manutenção dos serviços geossistêmicos, principalmente no que tange a qualidade e a disponibilidade das águas subterrâneas.

## 2. OBJETIVOS

---

O estudo objetiva desenvolver um índice de geoconservação da geodiversidade funcional, por meio de uma proposta teórico-metodológica, tendo como área de aplicação as sub-bacias dos Córregos Água Quente e Água Fria, localizadas no município de São Carlos-SP.

### 2.1 Objetivos específicos

- Identificar a geodiversidade funcional presente em um determinado território, associando as unidades da paisagem com as características intrínsecas e/ou relevantes das unidades aquíferas;
- Obter o mapa da geodiversidade funcional;
- Obter histórico e mapa da dinâmica dos usos e cobertura do solo;
- Propor um método para obtenção do mapa índice da geoconservação da geodiversidade funcional;
- Aplicar o método nas sub-bacias dos Córregos Água Quente e Água Fria, município de São Carlos-SP;
- Avaliar as diretrizes propostas pelo Plano Diretor Estratégico de São Carlos-SP (PMSC, 2016), verificando se as mesmas compreendem as necessidades de geoconservação da geodiversidade funcional presentes na área; e
- Avaliar os resultados obtidos com a proposta teórico-metodológica.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

A proposta metodológica deste estudo demanda a explanação dos conceitos relacionados à **análise integrada da paisagem, bacias hidrográficas, compartimentação fisiográfica, sensoriamento remoto**, influência no geossistema pela **dinâmica dos usos e cobertura da terra, geodiversidade, geodiversidade funcional, geoconservação** e planejamento ambiental e as diferenças existentes entre o método proposto e as análises de **fragilidade e vulnerabilidade ambiental**, as quais quando integradas formam um conjunto multidisciplinar de ferramentas capaz de expressar e ordenar o meio físico de forma holística, contribuindo para a proteção da provisão dos serviços geossistêmicos, tendo como componente alvo, as águas subterrâneas.

Assim, esta seção busca esclarecer as definições e conceitos de cada um desses temas, para que na seção de metodologia, esta revisão bibliográfica possa servir de base para traçar os aspectos que juntos serão responsáveis por estruturar o índice de geoconservação da geodiversidade funcional.

#### *3.1 Análise Integrada da Paisagem e Bacias Hidrográficas*

As diversas relações existentes entre os elementos da paisagem caracterizam um determinado espaço da superfície que pode ser interpretado de forma integrada, buscando o entendimento interdisciplinar e multidisciplinar do ambiente.

Os pressupostos teóricos e metodológicos da análise integrada da paisagem remetem ao conceito de heterogeneidade e homogeneidade das formas da superfície terrestre, possibilitando sua classificação em paisagens urbanas, rurais e naturais (MOSSONO, 2009).

Este conceito permeia a abordagem sistêmica da paisagem proposta por Bertrand (1972), que defende a teoria de que as unidades geográficas globais são constituídas por uma gama complexa de elementos e de interações que participam de uma dinâmica estabelecida pelo potencial ecológico, biológico e antrópico, associando a paisagem ao território no sistema GTP (Geossistema, Território e Paisagem), considerando a trilogia *Source-Ressource-Ressourcement* (BERTRAND, 1972).

Assim, neste modelo de estudo da paisagem o geossistema é a fonte (*Source*) totalmente natural e permite a compreensão da estrutura e funcionamento físico e biológico de um espaço geográfico no tempo. Quando o território recebe influências antrópicas, ele passa a ser denominado *Ressource*, pois deixa de ser natural em função das necessidades socioeconômicas. Por fim, o *Ressourcement*, fornece informações da dinâmica da ocupação social, econômica e cultural do território.

Com base nesses conceitos, as pesquisas relacionadas à análise integrada da paisagem buscam identificar os potenciais, limitações e avaliar a estrutura geoambiental das unidades da paisagem aplicando seus resultados para orientar a implantação das atividades socioeconômicas, considerando assim, diversos fatores que contribuem para o desenvolvimento local, regional e/ou nacional.

É importante salientar que as unidades da paisagem são definidas por integrarem e sintetizarem as características físicas, morfológicas, estruturais e geossistêmicas de um território designado como homogêneo, permitindo interpretações quantitativas e qualitativas em um espaço que apesar de ser considerado homogêneo, na verdade é uma área de transição de uma unidade para outra, posto que para Ross (1991), não existem modificações bruscas de uma condição ambiental para outra, existindo sempre uma faixa de transição.

No tocante dos delineamentos naturais do meio físico, as bacias hidrográficas são unidades naturais onde os componentes da paisagem, como por exemplo, relevo, solos, subsolos, flora e fauna, e os componentes sociais, como por exemplo, atividades econômicas e político-administrativas deveriam estar atreladas (ROSS; PRETTE, 1998), posto que as bacias hidrográficas são dinâmicas e estão sujeitas às interferências provenientes do comportamento dos componentes naturais e socioeconômicos.

Assim, inserir a bacia hidrográfica como unidade territorial para discutir planejamento e gestão dos recursos hídricos é um fator limitante para o processo de melhoria das condições sociais, econômicas e ambientais, pois caracteriza-se por uma delimitação natural do território que relaciona o potencial geoambiental da área à dinâmica da ocupação local, que por sua vez está interligada geograficamente a outras bacias hidrográficas, que possuem diferentes dinâmicas ambientais, sociais e econômicas.



### *3.2 Compartimentação Fisiográfica e Sensoriamento Remoto*

Conhecer e caracterizar as potencialidades e fragilidades da superfície terrestre é essencial para planejar e gerenciar os diferentes usos e coberturas do solo evitando possíveis conflitos entre as atividades antrópicas, os fenômenos geodinâmicos e a provisão dos serviços geossistêmicos (ROSS, 1995).

Assim, valer-se de técnicas que busquem avaliar as limitações e aptidões do geoambiente é um mecanismo que mostra-se eficiente para a análise ambiental e para análise integrada da paisagem, posto que as estratégias de desenvolvimento baseiam-se na capacidade de sustentação do território e da sua recuperação frente à intervenções humanas (NASCIMENTO; GARCIA, 2005).

O primeiro procedimento a ser adotado para que estas análises possam ser realizadas é delimitar a organização espacial do meio físico pelas suas propriedades intrínsecas e extrínsecas, o que pode ser feito utilizando como unidade básica de referência a bacia hidrográfica (MARTINS; VERDUIM, 2005; PELLETIER, 2005; BAYNE et al., 2005).

Posteriormente, deve ser feita a individualização das unidades do meio físico, denominada de compartimentação fisiográfica. A compartimentação, pode ser feita utilizando-se do processo de fotointerpretação sistemática de imagens de satélite ou de fotografias aéreas.

Esse processo é realizado a partir da análise das diversas propriedades da rede de drenagem, da homogeneidade e da similaridade das unidades geotécnicas presentes no território (VEDOVELLO, 1993). Esse processo apesar de ser descrito de forma simplificada é bastante complexo e por isso pode ser considerado uma etapa da pesquisa nos trabalhos relacionados à análise integrada do meio físico (ZAINE, 2011).

Os estudos realizados por Vedovello (1993) baseiam-se em organizar as unidades de compartimentação fisiográfica classificando-as de acordo com sua taxonomia e ordem hierárquica. A taxonomia é definida, tendo como base uma relação natural específica pré-determinada e a hierarquia baseia-se na escala e na finalidade do estudo (ZAINE, 2011).

Os avanços dos estudos nesta temática levaram Vedovello e Mattos (1998) a considerarem que dependendo do nível hierárquico ou taxonômico, existirá predomínio de um determinado elemento fisiográfico sobre os outros elementos, sendo este utilizado como fator ou critério para a compartimentação.

Os avanços das pesquisas direcionadas a compartimentação fisiográfica, tem tido grandes contribuições do sensoriamento remoto. Segundo Zaine (2011), as técnicas de

**sensoriamento remoto** tem contribuído significativamente para o desenvolvimento da compartimentação fisiográfica.

Para que se possa entender como o sensoriamento remoto contribui na compartimentação fisiográfica, definiremos a seguir os principais aspectos que permeiam esta ferramenta.

O sensoriamento remoto foi definido nos anos de 1960, como sendo uma tecnologia de coleta automática de dados para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global (JENSEN, 2009).

Com os avanços tecnológicos, o mesmo passou a ter como definição o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e mediação quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (JENSEN, 2009; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Assim, a aplicação desta ferramenta permite o levantamento das condições dos recursos naturais, os quais podem ser representados em mapas temáticos expressando diversos elementos da superfície e subsuperfície, como por exemplo, monitoramento ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamento florestal, previsões de safra, cartografia de previsão, aspectos geomorfológicos e no registro das transformações que ocorrem nos usos e cobertura da terra ao longo do tempo (MENESES, ALMEIDA; 2012).

As imagens de satélite utilizadas podem ser em forma digital ou em papel, permitindo avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região, como por exemplo, cobertura vegetal, deteriorização dos recursos hídricos, avanços antrópicos, dentre outras alterações (CAMPOS et al.; 2004).

O uso destas imagens envolve a aplicação das geotecnologias, as quais passam pelo geoprocessamento, que é composto por conjuntos de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica (ROSA, 2003).

Para que o geoprocessamento ocorra com adequado referencial geográfico, utiliza-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), processando dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens da superfície (BURROUGH, 1987).

Assim, o conjunto destas técnicas de sensoriamento remoto resulta em produtos que apresentam grande potencial para a realização de estudos do meio físico, principalmente na realização da compartimentação fisiográfica, pois constituem a representação espacial do território em ambiente SIG, sobre o qual é possível traçar os limites (VEDOVELLO, 1993).

A utilização do sensoriamento remoto para este fim é dado através da identificação das formas da paisagem, em geral do relevo previamente conhecidas e reconhecidas na imagem pelo fotointérprete. Esse procedimento depende de conhecimento prévio da paisagem e das características texturais associadas a essas formas.

Segundo Zaine (2011), a identificação de diferentes zonas homólogas na imagem corresponde à identificação de diferentes áreas do meio físico, onde ocorre a associação dos elementos e componentes desse meio, o que é feito através das diferenças de homogeneidade, de tropia e de assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas na imagem.

A homogeneidade pressupõe a ocorrência em uma determinada área de propriedades texturais constantes (homogêneas) ou não constantes (heterogêneas). A tropia refere-se à existência de feições texturais orientadas (anisotropia) ou sua não existência (isotropia). E a assimetria, diz respeito à igualdade (simetria) ou não (assimetria) das propriedades texturais de áreas situadas em lados opostos de uma determinada linha ou feição textural da imagem (Zaine, 2011).

Segundo Soares e Fiori (1976), o elemento de textura é a menor superfície contínua e homogênea que se pode distinguir na imagem e passível de repetição. A estrutura considera a organização espacial ordenada dos elementos texturais. Consequentemente, um alinhamento constitui uma estrutura na imagem.

Portanto, a análise da homogeneidade, tropia e assimetria condicionam a textura na imagem e permite a compartimentação da imagem em áreas que apresentem disposição espacial de elementos texturais com propriedades comuns (formas), permitindo a delimitação e caracterização das zonas homólogas (Zaine, 2011).

### *3.3 Geodiversidade*

O termo “Geodiversidade” foi utilizado pela primeira vez nos anos de 1940, proposto pelo argentino Frederico Alberto Daus, sendo um sinônimo de diversidade geográfica (Serrano; Ruiz-Flanó, 2007). No entanto, segundo Nieto (2001) e Gray (2004), a provável origem do termo teria sido na Conferência de Malvern sobre Conservação Geológica e Paisagística, em 1993.

Esta definição da década de 1990 refere-se ao meio abiótico e sua diversidade de características, assembleias, sistemas e processos geológicos, geomorfológicos e do solo (Sharples, 1995), em resposta à disseminada conceituação de biodiversidade.

Com o avanço de estudos nesta área, a definição de geodiversidade foi refinada, sendo reconhecida pela *Royal Society for Nature Conservation* do Reino Unido, com a descrição proposta por Stanley (2000, p.35), que a define como: “Variedade de ambientes, fenômenos e processos ativos, de caráter geológico, gerador de paisagem, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que constituem a base para vida na Terra”.

Portanto, apesar das diferentes variações do termo geodiversidade, os pesquisadores são unânimes em reconhecer a importância desta para a vida, como sustentáculo da biodiversidade, o que lhe confere uma série de valores, motivando propostas de geoconservação (PEREIRA; FARIAS, 2016).

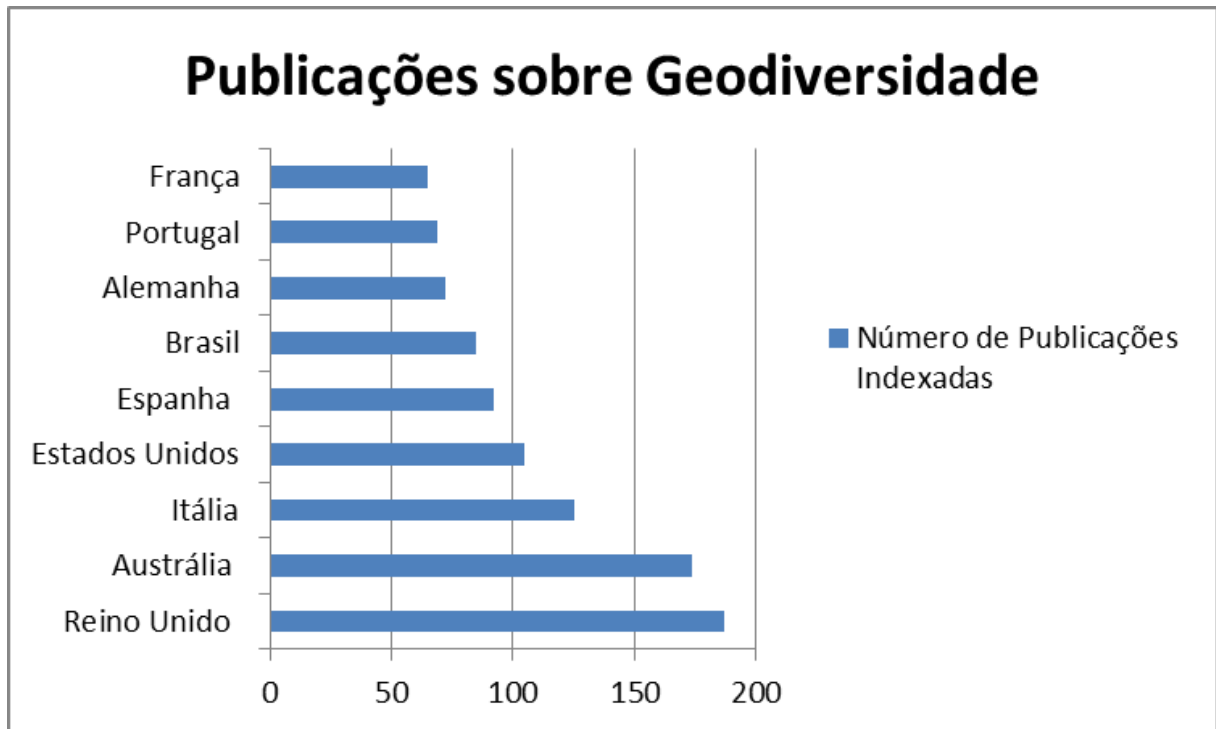
Entretanto, apesar desta temática permear a academia desde 1940 (SERRANO; RUIZ-FLANÓ, 2007), esteve estagnada durante muito tempo as sombras dos estudos referentes à biodiversidade, o que explica poucas publicações sobre o tema até meados de 1998, onde passou a ser impulsionada pelos geocientistas em resposta a disseminação da biodiversidade, a qual depende diretamente da geodiversidade para seu desenvolvimento e de forma similar necessita ser conservada.

Segundo dados de análise bibliométrica realizada na plataforma *Scopus*, de grande abrangência científica e tecnológica multidisciplinar, estudos referentes à geodiversidade começaram a ser publicados com maior frequência a partir do ano de 2009 (1.280 publicações), mostrando-se um tema novo, com muitas possibilidades de pesquisa, principalmente no que tange os valores da geodiversidade, os quais ainda não foram totalmente explorados.

Ainda segundo dados extraídos da plataforma *Scopus*, a temática de pesquisa em geoconservação mostra-se ainda mais recente, com suas primeiras publicações datadas de 1997, atingindo o maior número de publicações anuais (106) em 2016, mostrando que o avanço das pesquisas deste tema, dependem dos estudos relacionados à geodiversidade.

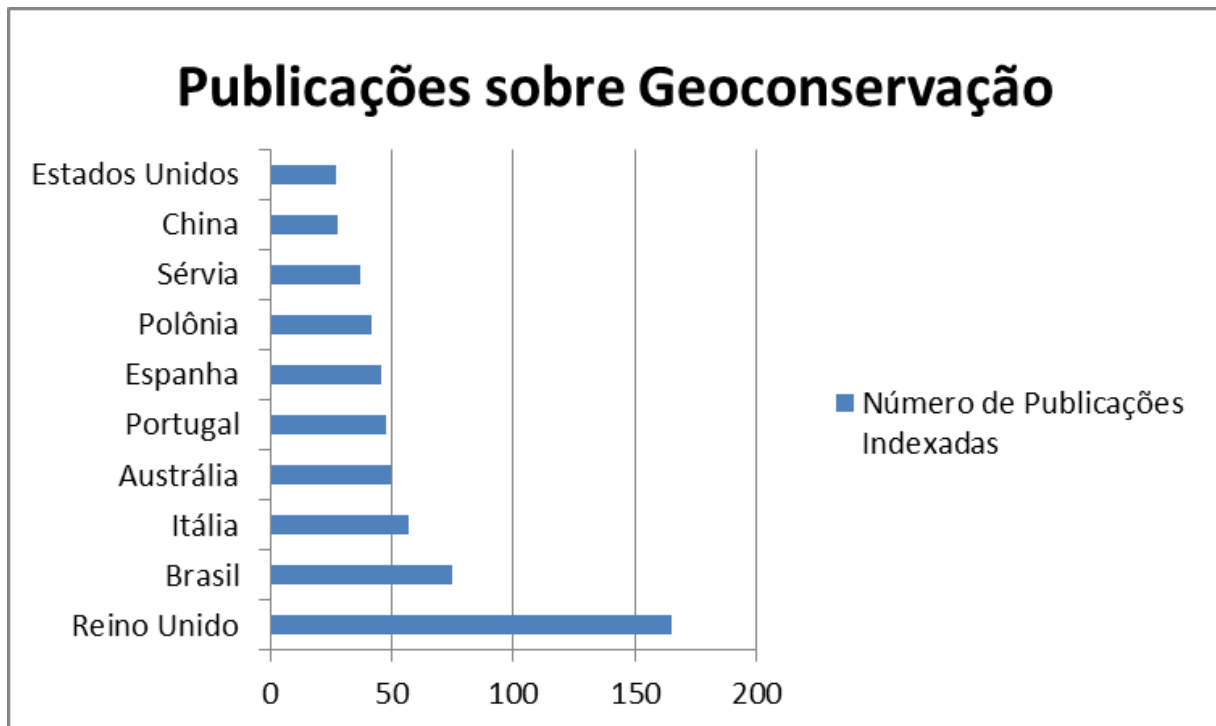
O Reino Unido é o país que mais possui pesquisas publicadas sobre geodiversidade e geoconservação, sendo o Brasil o 6º país em publicações relevantes em geodiversidade (FIGURA 1) e o 2º em geoconservação (FIGURA 2).

**Figura 1-** Estudos referentes à geodiversidade classificados por países, publicados até o ano de 2017.



Fonte: Autor (2017).

**Figura 2-** Estudos referentes à geoconservação classificados por países, publicados até o ano de 2017.



Fonte: Autor (2017).

Este *status* indica que os pesquisadores brasileiros utilizam-se dos referenciais teóricos já desenvolvidos sobre a geodiversidade no exterior, adaptando em muitos casos estas metodologias para o contexto nacional, permitindo que mais tempo seja empregado no desenvolvimento de metodologias direcionadas as estratégias de geoconservação.

Ademais, é importante salientar que os esforços destas pesquisas são direcionados a quantificar, monitorar, divulgar e conseqüentemente conservar os exemplares notórios da geodiversidade, que estão relacionados ao patrimônio geológico, educativo e estético.

Apesar de Brilha (2005) propor que é possível realizar a geoconservação sustentável não apenas dos elementos notórios da geodiversidade, os estudos publicados tratam dos elementos da geodiversidade que evidenciam valor superlativo, denominados de *geossítios*.

Os resultados da revisão bibliométrica mostram a carência da pesquisa na área de geoconservação sustentável e mostrando que isso ocorre no panorama nacional e internacional, enfatizando a importância do que esta sendo proposto por este estudo.

### 3.4 Geoconservação

Segundo Sharples (1995; 2002) a geoconservação pode ser definida como a preservação da diversidade natural (ou geodiversidade) de significativos aspectos e processos geológicos (substrato), geomorfológicos (formas da paisagem) e de solo, pela manutenção da evolução natural desses aspectos e processos.

Assim, os principais objetivos da geoconservação referem-se a conservar e assegurar a manutenção da geodiversidade; proteger e manter a integridade dos locais com relevância em termos de geoconservação; minimizar os impactos diversos dos locais importantes em termos de geoconservação; e contribuir para a manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos dependentes da geodiversidade (SHARPLES, 2002).

Segundo Brilha (2005), a geoconservação apresenta dois sentidos, um mais amplo que tem por objetivo o uso e a gestão sustentável de toda a geodiversidade, englobando todos os tipos de recursos geológicos e um mais restrito que engloba apenas a conservação de certos elementos da geodiversidade que evidenciam qualquer tipo de valor superlativo (NASCIMENTO et al., 2008).

Ainda segundo a visão dos autores, qualquer necessidade de implementação de estratégias de geoconservação podem dar origem a grandes discussões, pois elas consistem

em divergências do pensamento dos que pretendem conservar tudo que possua algum valor; dos que pretendem conservar apenas os expoentes máximos da geodiversidade.

No Brasil, as primeiras iniciativas voltadas a geoconservação, ocorreram no ano de 1937, com a criação do Parque Nacional do Itatiaia (entre os Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro), com o intuito de proteger amostras da Floresta Pluvial Atlântica Montana e amostras de ecossistemas de campos de altitude; conservar as belezas cênicas naturais da Serra da Mantiqueira e recuperar, conservar e proteger a área (ICMBio, 2017).

Além disso, foi estabelecido o Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, que organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional, remetendo ao tombamento e proteção dos monumentos naturais (sítios e paisagens), que necessitem de conservação e proteção por sua feição notável natural ou feições criadas pela indústria humana.

Após estas iniciativas, a geoconservação esteve relacionada indiretamente à criação de unidades de conservação, as quais baseiam-se na proteção da biodiversidade, registrando-se a ausência de iniciativas sistemáticas e objetivas de geoconservação em território brasileiro, até o final dos anos 1980 (FRAGA, 2010).

Em 1997, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), instituiu a Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), com o objetivo de elencar *geossítios* brasileiros para a Lista Indicativa Global de Sítios Geológicos (Global Indicative List of Geological Site – GILGES) (FRAGA, 2010).

Atualmente, a GILGES, encontra-se inativa, mas a SIGEP representa uma importante iniciativa para a geoconservação no Brasil, pois consiste na única instituição de relevância nacional e em plena atividade, com apoio da comunidade geocientífica, que tem por objetivo sistematizar os mecanismos para a proposição e descrição de *geossítios* (FRAGA, 2010).

Em 2000, foi publicada a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000), que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. No transcorrer da Lei, em seus objetivos, no capítulo III, o SNUC estabelece a necessidade de proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural.

Ademais, também prevê a proteção e a recuperação dos recursos hídricos e edáficos, contemplando a proteção do patrimônio geológico na legislação brasileira, mesmo que em detrimento da biodiversidade, posto que a criação destas unidades visa em primeiro plano a proteção e conservação de exemplares da fauna e da flora.

Dessa forma, é possível verificar que os esforços feitos no Brasil para regulamentar a geoconservação foram poucos e estão pautadas no paradigma proposto por Brilha (2005), entre a geoconservação sustentável ou na geoconservação dos elementos notáveis da geodiversidade.

Todavia, na análise bibliométrica realizada é possível verificar que os trabalhos acadêmicos publicados até meados de 2017, referem-se a vertente da geoconservação dos elementos notórios da geodiversidade, tratando de *geossítios*, da proteção do patrimônio geológico e do geoturismo.

Caminhando em contrapartida, este estudo foi desenvolvido com base na geoconservação sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, os quais carecem de proteção e são essenciais para a vida, estando previstos tanto no SNUC, quanto na Política Nacional dos Recursos Hídricos.

Além disso, as águas subterrâneas são enquadradas como valor de geodiversidade funcional e estão presentes em diferentes unidades geológicas, as quais sofrem pressão por diferentes tipos de ocupação antrópica e estão expostas a diferentes níveis de fragilidade e vulnerabilidade ambiental, demandando a sistematização na identificação e análise de suas carências, para que sejam estruturadas medidas adequadas para a geoconservação.

### *3.5 Características Gerais da Geodiversidade Funcional*

Segundo Nascimento (2008), a geodiversidade pode ser classificada segundo seus valores, pois o ato de preservar e de conservar algo está diretamente relacionado à atribuição de algum valor. Assim, Gray (2004) e Brilha (2005) classificam os valores da geodiversidade em: **intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e educativo.**

O valor **intrínseco**, expressa a relação existente entre o homem e a natureza e é de difícil compreensão, devido à dificuldade de quantificá-lo. Neste contexto, existem duas formas de entender este valor, o primeiro refere-se ao pensamento de que a natureza deve estar à disposição do homem, com a finalidade de satisfazer suas necessidades, sendo o homem superior aos demais seres vivos; e o segundo refere-se ao pensamento de que o homem é parte da natureza e possui seu próprio valor perante o todo, devendo respeitar e coexistir com demais elementos geoambientais e bióticos (NASCIMENTO, 2008).

O valor **cultural** originou-se da interdependência entre o desenvolvimento social, cultural e/ou religioso e o meio físico circundante. Este valor expressa-se, por exemplo, dos



nomes de algumas cidades brasileiras e estão diretamente relacionados com os aspectos geológicos e geomorfológicos, como é o caso de Serra Caiada (RN), Itabira e Diamantina (MG), dentre outras, as quais possuem estes nomes devido ao seu significado em tupi-guarani relacionado às feições naturais (NASCIMENTO, 2008).

O valor **estético** também é de difícil compreensão, pois não é possível quantificá-lo, posto que contemplar uma paisagem é algo comum, mas definir qual é a paisagem mais bonita é algo muito discutível e bastante peculiar (NASCIMENTO, 2008).

De qualquer forma, toda paisagem possui valor estético, o intrigante é que isso permite o contato com o público, porém, apenas parte das pessoas tem consciência de que a paisagem representa a evolução da história da Terra.

O valor **econômico** é fácil de ser quantificado, posto que as pessoas estão habituadas a atribuir valor econômico a praticamente todos os bens e serviços. Assim, os minerais, as rochas e os fósseis, possuem valor e são comercializados como decoração e utensílios (NASCIMENTO, 2008).

Além disso, o valor econômico é utilizado no campo energético, com a exploração de petróleo, carvão e gás natural, exploração de minérios radioativos, energia geotérmica, instalação de hidrelétricas em locais de geomorfologia e geologia propícia; e na implantação de ocupações antrópicas (NASCIMENTO, 2008).

O valor **funcional** raramente é discutido na conservação da natureza e abrange solos, sedimentos, relevos e rochas, exercendo um papel funcional nos sistemas ambientais, bióticos e abióticos (GRAY, 2004).

Este valor possui duas subdivisões, sendo a primeira correspondente ao valor utilitário da sociedade humana “in situ” e o segundo pelo fornecimento de substâncias essenciais, habitats, e processos abióticos que mantem os sistemas geoambientais e sustentam a biodiversidade (GRAY, 2004).

Segundo Gray (2004), a superfície terrestre fornece bases para o desenvolvimento de diversas atividades antrópicas, o que é proporcionado pelas diferentes combinações das particularidades do relevo, do tipo de rocha e dos solos, resultando em uma grande complexidade e diversidade dos valores funcionais utilitários.

O autor destaca, por exemplo, a particularidade dos solos de turfa, os quais atuam como alojamento de carbono, armazenando 25% do carbono disponível no mundo, recobrando apenas 3% do território terrestre.

Além da turfa, as rochas representam outro ambiente abiótico, capaz de armazenar substâncias, como por exemplo, as águas contidas nos aquíferos, petróleo, gás, recursos minerais e sedimentos.

O meio físico também desempenha a função de reciclagem e de atenuação de substâncias poluentes, que pode ocorrer por absorção, permuta iônica, decomposição ou diluição microbiana. Estes processos possuem eficácia variável, pois dependem da espessura, composição e estrutura dos solos, sedimentos e rochas.

Assim este valor, é fundamental para sustentar a vida humana e suas atividades socioeconômicas, compondo peças do complexo geossistêmico ou como substrato para a sustentação do sistema ecológico.

Em suma, as funções desempenhadas por este valor podem ser exemplificadas com o armazenamento de elementos químicos, bactérias e microrganismos, responsáveis por manter a qualidade do solo, favorecendo a agricultura; armazenamento de água subterrânea, utilizada para o abastecimento de múltiplos usos antrópicos; sustentar a biodiversidade; proporcionar fixação de empreendimentos humanos; e servir como filtro natural, lixiviando parte dos poluentes e contaminantes que possam atingir o lençol freático (GRAY, 2004).

Entre estas funções exercidas pela geodiversidade funcional, o armazenamento de água subterrânea, carece de atenção especial, pois ao passo que os recursos hídricos superficiais perdem qualidade, a busca pela exploração subterrânea é gradativamente maior, acarretando em riscos futuros de não haver mais nenhuma reserva de água potável para o uso.

O valor **científico** tem como base o acesso e posterior estudo da geodiversidade, sendo necessário conhecer e interpretar a geodiversidade, construindo a história da Terra, aplicando este conhecendo no âmbito de auxiliar nas melhorias na relação entre pessoas e a geodiversidade, ajudando, por exemplo, que pessoas não utilizem áreas com potenciais riscos geológicos. Por fim, o valor **educativo** da geodiversidade está relacionado ao ensino de Ciências da Terra (NASCIMENTO, 2008).

### *3.6 Geodiversidade Funcional e as Águas Subterrâneas*

Segundo Gray (2004), a geodiversidade funcional raramente foi discutida na conservação da natureza, porém é nítida sua função, principalmente quando trata-se dos solos,

sedimentos, relevo, rochas, no armazenamento de substâncias e na provisão dos serviços geossistêmicos.

Após muitas leituras sobre esta temática, foi possível verificar que o estudo elaborado por Gray (2004) é o mais complexo e acurado com relação à definição dos conceitos que envolvem a classificação dos valores da geodiversidade.

Apesar de existirem outros estudos, cujos autores são de extrema significância para o desenvolvimento desta área de pesquisa (STANLEY, 2000; BRILHA, 2006; NASCIMENTO et al.; 2008), os traços referentes ao pensamento particular destes autores, direciona a pesquisa para as áreas que atualmente estão em evidência acadêmica.

Por tanto, nesta seção serão descritas e abordadas às características da geodiversidade funcional, segundo a visão de Gray (2004). Todavia, é importante ressaltar que é consenso entre os autores que a geodiversidade funcional pode ser classificada por seus valores utilitários e pelo seu valor “in situ”.

Assim, segundo Gray (2004, p.114), a superfície terrestre fornece uma plataforma ou base sobre a qual todas as atividades humanas acontecem, e isso confere a terra um ambiente funcional e econômico. Combinações particulares de formas de relevo, tipos de rocha ou solos fazem com que as áreas sejam adequadas para diferentes usos antrópicos, sendo algumas aptas para a agricultura, outras para hidrelétricas, outras para usos urbanos.

Além disso, a geodiversidade possui propriedades que proporcionam a ela, além de sustentar as atividades em subsuperfície, realizar o armazenamento e reciclagem de nutrientes no subsolo.

Uma das funções mais importantes de armazenamento inclui a água, que é armazenada em aquíferos, na subsuperfície ou na superfície do terreno.

A estrutura geológica e/ou a rocha afetam a composição química das águas subterrâneas que circulam em profundidade. Um exemplo desta condição é a água mineral inglesa, que é comercializada como sendo “naturalmente filtrada”, ou seja, dispensa tratamentos, e ocorre por meio do granito Pré-Cambriano, que é proveniente dos aquíferos localizados abaixo dos montes de Malvern (GRAY, 2004).

Dependendo da composição química das águas subterrâneas, elas apresentam variações de sabor (MALTMAN, 2003). Lloyd (1986) realizou um estudo em que observou a relação entre a hidrogeologia, a localização de cervejarias e a cerveja, descobrindo que as cervejarias inglesas estavam concentradas em Aquíferos Triássicos, em que o teor de cálcio,

bicarbonato e sulfato combinados com o processo ionizante utilizado causava impacto direto no sabor da cerveja.

Em contrapartida, no contexto contemporâneo, as águas subterrâneas mostram-se como uma solução de armazenamento de água potável frente à escassez de águas superficiais em quantidade e qualidade.

Neste sentido, é importante ressaltar que as águas superficiais e subterrâneas estão em constante equilíbrio, portanto, existe uma complementariedade de abastecimento entre estes componentes, ocorrendo variação de região para região. Em áreas áridas, o meio subterrâneo abastece o meio superficial, em áreas com maior abundância hídrica as águas superficiais abastecem o sistema subterrâneo, e assim o geoambiente mantém-se em equilíbrio (FEITOSA; FILHO-MANOEL, 2000).

Atualmente vive-se a crise hídrica devido ao desequilíbrio de abastecimento e reabastecimento deste sistema, caracterizada por dois tipos de escassez: a econômica e a física. A primeira trata-se da falta de investimentos e é definida por possuir pouca estrutura e distribuição de água desigual; e a segunda remete-se a situação de que os recursos hídricos não conseguem atender à demanda da população (CIRILO, 2015).

Segundo Cirilo (2015), as regiões áridas, possuem bacias hidrográficas associadas com a escassez física, contemplando 25% da população mundial, e um bilhão de pessoas vivem em bacias hidrográficas onde a água é economicamente escassa.

O Brasil em sua totalidade de reservas, unindo todas as regiões, apresenta situação privilegiada de disponibilidade hídrica, detendo metade da água doce da América do Sul e 13% do total mundial, dos quais 2/3 refere-se a águas subterrâneas, com extensões superiores à da Inglaterra, França e Espanha juntas (CIRILO, 2015).

Neste contexto, são necessários estudos que possam além de verificar o grau de exposição da geodiversidade funcional, aponte as principais causas de sua depleção e identifiquem estratégias capazes de conter esses avanços utilizando como principal aspecto a escassez futura dos recursos hídricos.

### *3.7 Vulnerabilidade, Fragilidade Ambiental e Usos e Coberturas do Solo*

O significado de **vulnerabilidade ambiental** não é consenso entre estudos desta área, porém o que há de comum entre eles é que os autores buscam definir o conceito de

vulnerabilidade dentro da escolha do tema que esta sendo trabalhado, definindo também um sistema de avaliação, escolha e organização dos indicadores ambientais.

Segundo Adger (2006), as definições de vulnerabilidade estão mais atreladas aos seguintes fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta a determinadas questões ambientais.

Assim, a exposição significa o grau, duração ou extensão em que o sistema está em contato com perturbações. A sensibilidade está relacionada à extensão ou ao grau em que um sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações ao longo do tempo. A capacidade adaptativa é a habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido, fazer uso de recursos, oportunidades ou responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer (ADGER, 2006).

Resumidamente, um sistema torna-se gradativamente mais vulnerável com o aumento das pressões, que aumentam também a sensibilidade do meio, tornando menor sua capacidade adaptativa.

O conceito de **fragilidade ambiental** foi proposto por Ross (1994) baseando-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos.

Os procedimentos operacionais para a sua construção exige num primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal etc... Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas (ROSS, 1994).

O princípio da funcionalidade intrínseca baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica preconizada por Tricart (1977). De acordo com Ross (1994), dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico.

Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Diante dos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está submetido, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5) (ROSS, 1994).

Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais. É

denominada de **fragilidade potencial** a vulnerabilidade natural do ambiente e de **fragilidade ambiental** os diferentes graus de proteção que os tipos de uso e cobertura vegetal exercem.

Os tipos de usos e cobertura do solo influenciam drasticamente na dinâmica do meio físico e biótico, pois causam intervenções acompanhadas de fontes potencialmente contaminantes (Tabela 1). Assim, identificar os possíveis compostos gerados pelas atividades desenvolvidas no terreno é um dos fatores-chaves para que se possa determinar a exposição das águas subterrâneas e o comprometimento da estrutura geológica, que afeta diretamente a geodiversidade funcional.

**Tabela 1**-Alguns tipos de usos e coberturas da terra e seus principais contaminantes.

<b>TIPO</b>	<b>Contaminantes*</b>
<b>Mineração de Basalto</b>	Sucatas metálicas, óleos, graxas e lubrificantes
<b>Cana de Açúcar</b>	Produtos Químicos e Biológicos (Agrotóxicos e Fertilizantes)
<b>Pastagem</b>	Produtos Químicos e Biológicos (Agrotóxicos, Fertilizantes e Resíduos Fisiológicos do Metabolismo Animal)
<b>Solo Exposto</b>	Produtos Químicos e Biológicos (Agrotóxicos e Fertilizantes)
<b>Culturas Temporárias</b>	Produtos Químicos e Biológicos (Agrotóxicos e Fertilizantes)
<b>Silvicultura</b>	Produtos Químicos e Biológicos (Agrotóxicos e Fertilizantes)
<b>Loteamentos</b>	Fossas e Uso Pontual de Fertilizantes e Agrotóxicos
<b>Instalações Rurais</b>	Fossas, Uso de Fertilizantes e Agrotóxicos, Óleos e Graxas
<b>Área Urbana</b>	Óleos e Graxas e Resíduos Sólidos Depositados de Forma Inadequada: Construção Civil e Lixões
<b>Comércio e Serviços</b>	Sucatas Metálicas, Óleos, Graxas, Lubrificantes, Componentes Orgânicos e Inorgânicos, Hg, Cd, Pb, Cr, C e N
<b>Indústria de Madeira</b>	Compostos Orgânicos, Tintas, Vernizes, Colas, Resinas, Solventes, Cr e As
<b>Indústria Metalúrgica</b>	Ni, Cr, Zn, Cu, Pb, Hg, As, C, N, Resíduos Ácidos, Solventes e Polímeros Químicos

*Fonte: Adaptado Muro (2000).*

Assim, é possível verificar que o conceito de vulnerabilidade é bastante amplo e moldável, enquanto o conceito de fragilidade ambiental pode ser considerado um tema específico da vulnerabilidade ambiental, e que ambos são impactados tanto pelos **usos e ocupações do solo**, que possuem relação direta com as diversas atividades urbanas e diretrizes urbanísticas, quanto pelos **usos e coberturas da terra**, que possuem relação direta com as atividades urbanas, rurais e periurbanas.

Iritani e Ezaki (2010) elaboraram um roteiro orientativo em que as atividades antrópicas são classificadas de acordo com seu potencial contaminante, contando com as seguintes categorias: reduzida, moderada e elevada, norteando a padronização de análise e avaliação dos diferentes tipos de atividades antrópicas.

A explanação destes conceitos permite verificar que a proposta metodológica deste estudo irá partir do princípio da vulnerabilidade ambiental, propondo uma sequência de técnicas a serem seguidas para a obtenção dos resultados.

Tratando-se de metodologias de vulnerabilidade ambiental, aplicadas às águas subterrâneas, podemos destacar o método **GOD** (G – *groundwater hydraulic confinement*; O – *overlying strata*; D – *depth to groundwater table*), desenvolvido por Foster e Hirata (1988), caracterizado como um método paramétrico indicativo de vulnerabilidade natural, tem sido aprimorada ao longo do tempo (FOSTER et al., 2006), e é composta por um índice genérico de vulnerabilidade à contaminação sendo útil para diversas aplicações, pois consiste em um cruzamento de atributos bases para a manutenção do ambiente sub-superficial, utilizando como atributos de análise o confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão, os estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos de características hidrogeológicas e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação de contaminantes e a profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

Este método é bastante disseminado e aceito academicamente, e por isso foi utilizado como ferramenta para elaborar parte do método proposto neste estudo, pois o mesmo tem por objetivo obter informações do geossistema subterrâneo por meio da análise integrada da paisagem, obtendo resultados sobre as características naturais do sistema, as quais serão confrontadas posteriormente com as influências das dinâmicas dos usos e cobertura da terra.

Em suma, a abordagem deste estudo parte do pressuposto da vulnerabilidade ambiental associada à geodiversidade funcional e depois analisa o geoambiente com o pressuposto da fragilidade ambiental, no tocante da inserção da avaliação dos usos e cobertura da terra, compondo o índice de geoconservação da geodiversidade funcional.

### 3.8 Geoconservação da Geodiversidade Funcional

A Lei nº 9.985/2000 que rege as diretrizes do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), dividi as Unidades de Conservação (UCs) em dois grupos com características específicas, sendo elas: as de **proteção integral**, que possuem o objetivo de preservar a natureza, permitindo-se uso indireto dos recursos naturais; e as de **uso sustentável**, que tem por objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos seus recursos naturais.

Cinco categorias estão enquadradas nas **Unidades de Conservação de Proteção Integral**: Estação Ecológica (Esec); Reserva Biológica (Rebio); Parque Nacional (Parna) – quando criado pelo estado ou município é denominado Parque Estadual ou Parque Natural Municipal; Monumento Natural (MN); e Refúgio de Vida Silvestre (RVS).

Sete categorias fazem parte das **Unidades de Conservação de Uso Sustentável**: Área de Proteção Ambiental (APA); Área de Relevante Interesse Ecológico (Arie); Floresta Nacional (Flona) – quando criada pelo estado ou município é denominada Floresta Estadual ou Municipal; Reserva Extrativista (Resex); Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS); Reserva de Fauna (Refau); e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

Dentre estas categorias, a que mais se aproxima das necessidades de proteção da geodiversidade funcional são as Áreas de Preservação Ambiental (APA), que possuem como objetivo proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

A sustentabilidade dos recursos naturais complementa perfeitamente as necessidades de geoconservação da geodiversidade funcional, e pode ser trabalhada com foco nesta aplicação e embasamento teórico legal, pois as APAs são caracterizadas por serem geralmente extensas, possuem certo grau de ocupação antrópica, apresentam aspectos significativos dos atributos bióticos, abióticos, estéticos e/ou culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas (ICMBio, 2011).

Cabe ao instituto Chico Mendes estabelecer as condições para pesquisa e visitação pelo público. Estas áreas podem abranger áreas federais, estaduais ou municipais (ICMBio, 2011).

O Brasil possui 12,57% de seu território composto por APAs, as quais começaram a ser criadas a partir de 1980, somando atualmente 9.660.625,28hectares do território nacional. O Estado da Bahia apresenta o maior número de Área de Proteção Ambiental (32), porém o



Estado do Pará possui a maior Área de Proteção Ambiental (6.863.925,24hectares) (DRUMMOND et al., 2010).

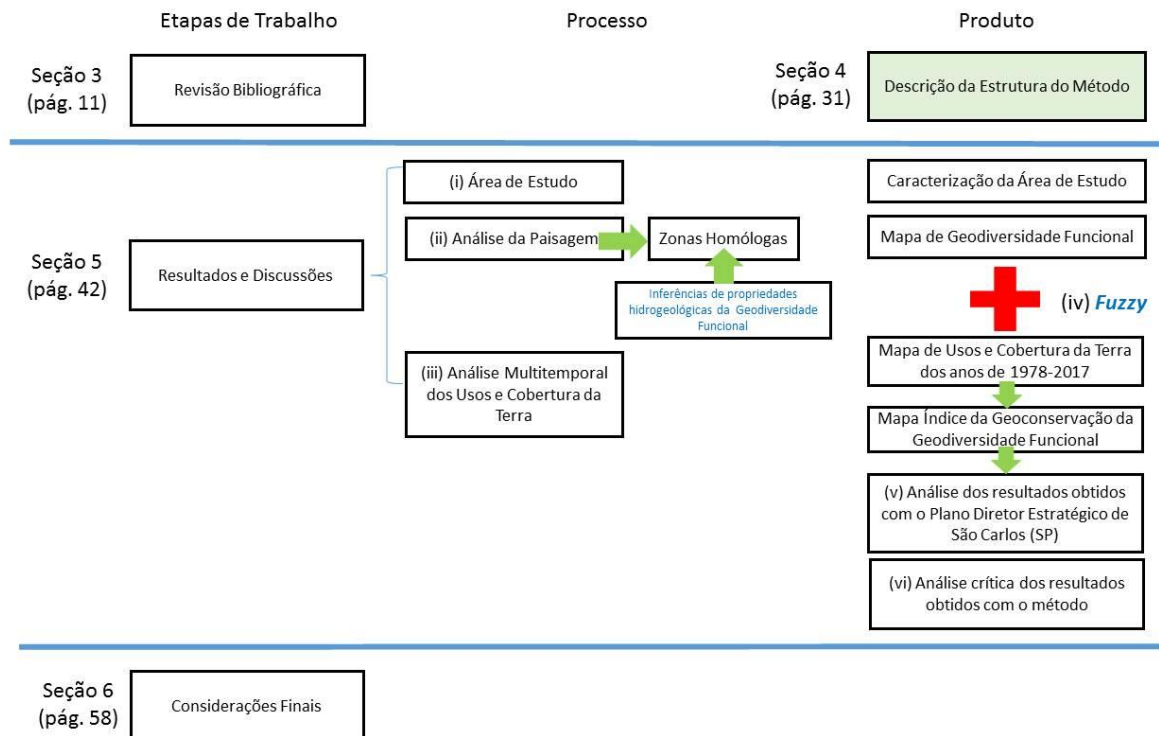
Segundo Drummond et al (2010), Alagoas, Paraíba, Sergipe e São Paulo são os quatro Estados brasileiros com as menores áreas de Unidade de Conservação de Proteção Integral. São Paulo tem o maior número de florestas estaduais, porém Pará, Amazonas e Amapá respondem pela maior área, representando juntos 91% da área total.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Metodologia

O estudo esteve embasado por revisão bibliográfica, a qual fundamentou a composição teórica necessária para elaborar a estrutura da metodologia do **índice da geoconservação da geodiversidade funcional** contida em um determinado espaço geográfico. Posteriormente aplicou-se o método nas sub-bacias Água Quente e Água Fria. Assim, a aplicação do método dividiu-se em cinco etapas (FIGURA 3):

**Figura 3-** Fluxograma dos materiais e métodos utilizados no estudo.



Fonte: Autor (2018).

i) área de estudo; ii) análise da paisagem, que contempla a análise das zonas homólogas e descrição das inferências hidrogeológicas que condicionam a Geodiversidade funcional, resultando no mapa da geodiversidade funcional; iii) elaboração e análise da dinâmica multitemporal dos usos e coberturas da terra; iv) cruzamento de mapas ponderados através do método *fuzzy*, obtendo-se o Mapa do Índice da Geoconservação da Geodiversidade Funcional; v) avaliação dos resultados obtidos com a aplicação do método e os aspectos

positivos e negativos frente ao Plano Diretor Estratégico de São Carlos (SP) (PMSC, 2016) e vi) análise crítica dos resultados obtidos com a aplicação do método.

#### 4.1.1 Descrição da Estrutura do Método

O método estruturado neste estudo abrange as seguintes etapas:

(I) Seleção, delimitação e caracterização da **área de estudo**;

(II) **Análise da Paisagem** (ZAINE, 2011) pode ser realizada através da compartimentação fisiográfica, seguindo quatro etapas: i) análise da densidade textural (elementos de drenagem e relevo); ii) análise das formas e características do relevo; iii) análise das estruturas geológicas (elementos estruturais); e iv) análise complementar que contempla tonalidades, usos do solo e processos geológicos.

Cada uma das etapas está organizada em três fases de elaboração: (a) **Observação e registro** – referem-se à identificação dos elementos e feições da drenagem e do relevo, correspondendo à etapa de fotoleitura de Soares e Fiori (1976); (b) **Análise** – é realizada segundo critérios organizados de forma sistemática, permitindo interpretar (fotoanálise) algumas propriedades das rochas e dos materiais e a classificação qualitativa e semi-qualitativa; e (c) **Interpretação e aplicação** – realizada a partir da sequência dos procedimentos anteriores, e permite apresentar inferências geotécnicas (fotointerpretação), com base na análise fisiográfica, extraindo informações que possam ser aplicadas em estudos geoambientais.

Neste contexto, a etapa de **análise da densidade textural** baseia-se na observação da rede de drenagem e dos elementos de relevo, os quais representam a dissecação e a rugosidade do terreno. Assim, a análise busca identificar e separar rochas e materiais com diferentes permeabilidades intergranulares e, delimitar unidades tendo por base esta propriedade. Além de permitir extrair a relação entre o escoamento superficial e a infiltração das águas de chuva nos diferentes terrenos.

A **análise das formas e características do relevo** é realizada com base nas encostas ou vertentes, por meio de alguns parâmetros relacionados à amplitude ou variações das cotas topográficas, declividade, forma das vertentes/ vales/ topos, além de feições particulares do relevo (ZAINE, 2011). As propriedades interpretadas com esta análise refere-se à solubilidade

das rochas, resistência à erosão natural, profundidade do topo rochoso, espessura da cobertura dos materiais inconsolidados e grau de escavabilidade.

A **análise das estruturas geológicas** apresenta uma série de critérios importantes para auxiliar no reconhecimento e na interpretação das estruturas geológicas impressas nas rochas, com base na forma, geometria do relevo e da rede de drenagem.

Assim, as propriedades interpretadas com esta análise classificam a forma de ocorrência dos planos de estratificação (entre camadas) e de foliação metamórfica, desde o adensamento e espaçamento das estruturas, até as variações na composição e estrutura, visando separar unidades de materiais homogêneos, dos heterogêneos.

Além disso, pode-se inferir comportamento plástico (dúctil) ou rúptil, interpretados a partir da análise da topia, sinuosidade e grau de fraturamento das rochas deformadas com dobras, de rochas muito fraturadas.

A **análise complementar** refere-se a informações que traduzem os elementos e texturas expostas à superfície do terreno, sejam estes de componentes naturais ou construídos, considerando os diferentes tipos de cobertura vegetal e uso do solo. Essa análise ajuda a classificar alguns tipos de solos, como por exemplo, arenosos de argilosos e a identificar a presença de umidade na superfície do terreno.

Tendo por base estas diretrizes de delimitação das zonas homólogas obtém-se a espacialização das delimitações das unidades presentes em uma determinada paisagem alvo do estudo, a qual recomenda-se o uso de delimitações naturais, como por exemplo, as bacias hidrográficas.

Posteriormente, as zonas homólogas precisam ser caracterizadas e descritas, o que irá ajudar a agrupar informações e dados dos trabalhos “in situ” com dados de revisão bibliográfica. Para tanto, propõe-se que sejam consideradas as seguintes características, na descrição: tipo de aquífero, grau de confinamento, profundidade/espessura do aquífero, permeabilidade, relação escoamento superficial/ infiltração e outras características que podem ser inferidas e ponderadas com base na experiência dos profissionais envolvidos na pesquisa, descrevendo e caracterizando os principais aspectos da área em estudo.

Estas propriedades juntas são capazes de proporcionar considerações bastante significativas sobre as condições da geodiversidade funcional, expondo sua potencialidade natural em termos de transmissividade de água subterrânea, qualidade e disponibilidade da água.

Posteriormente, as unidades caracterizadas precisam ser comparadas e avaliadas em função da geodiversidade funcional, sendo classificadas considerando seu grau de vulnerabilidade natural frente às intervenções antrópicas, utilizando como base suas características e a experiência dos profissionais envolvidos. A classificação deve ser feita utilizando valores de 1 a 5, que expressão respectivamente muito baixa, baixa, média, alta e altíssima vulnerabilidade natural.

(III) **Mapa da dinâmica multitemporal dos avanços antrópicos**, deve ser realizada através da digitalização manual em tela dos usos e cobertura da terra da área em estudo, utilizando-se de qualquer SIG, seguindo as categorias de usos e cobertura da terra propostas pelo Manual técnico de Uso da Terra do IBGE (IBGE, 2013), bem como suas respectivas cores padronizadas. As imagens utilizadas para a digitalização devem ter no mínimo cinco anos de diferença uma da outra.

Para que esta etapa seja executada é preciso elaborar uma classificação das diferentes tipologias de usos e cobertura do solo, permitindo a classificação por polígonos, os quais podem ser reclassificados após verificações “in situ”.

Neste contexto, Iritani e Ezaki (2010) propõem uma classificação das atividades antrópicas, considerando seu potencial poluidor do solo e das águas subterrâneas, classificando esse potencial em elevado, moderado e reduzido. As autoras aplicaram o método com a finalidade de orientar a delimitação de área de proteção de poços, as quais representam vias diretas de contaminação das águas subterrâneas e conseqüentemente interferem na qualidade da geodiversidade funcional.

Considerando a proposta das autoras, após a obtenção dos usos e coberturas da terra, os mesmos serão reclassificados segundo seu potencial poluidor (elevado, moderado e reduzido). Desta forma, as nomenclaturas podem ser convertidas em valores que expressem diferentes níveis de potencial poluidor do solo e das águas subterrâneas, como por exemplo, 1 reduzido, 2 moderado e 3 elevado.

(IV) **Mapa Índice da Geoconservação da Geodiversidade funcional**, é definido tendo por base as diferentes características da geodiversidade funcional (II) somadas as dinâmicas dos usos e cobertura da terra (III), o qual em muitos casos causa intensas transformações nas áreas urbanas e rurais, principalmente em decorrência da falta do planejamento geoambiental, acarretando em danos à geodiversidade funcional.

Assim, esta etapa tem por objetivo obter uma aplicação que atenda especificamente as demandas da geodiversidade funcional em análise, possibilitando a identificação da relevância das unidades de Geodiversidade funcional e justificando sua necessidade de conservação na área de estudo, constituindo base para que a mesma possa ser comparada com outras unidades de geodiversidade funcional.

Tendo por base estas informações, utiliza-se a metodologia *fuzzy*, para unir os *layers* da geodiversidade funcional e usos e coberturas da terra. Esse método consiste em somar os valores que se cruzam em cada *layer* e agrupá-los em ordem crescente (valor mínimo e máximo), os quais tornam-se base para reclassificação em diferentes intervalos, que representarão diferentes níveis de fragilidade ambiental, que representa o índice de geoconservação da geodiversidade funcional.

Para compor um padrão do índice, aconselha-se adotar cinco intervalos nos valores máximos e mínimos obtidos e reclassificar os valores da seguinte forma: 1º Intervalo – muito baixa necessidade de geoconservação; 2º Intervalo – baixa necessidade de geoconservação; 3º Intervalo – média necessidade de geoconservação; 4º Intervalo – alta necessidade de geoconservação; e 5º Intervalo muita alta necessidade de geoconservação, respeitando a ordem crescente do intervalo de números.

Posteriormente, devem ser avaliadas as ações que poderão ser implementadas considerando a relevância das unidades obtidas pelo valor “in situ” e pelo valor funcional, garantindo sua integridade e acessibilidade ao público.

Com esta estrutura colocada em prática, Brilha (2005), propõe que seja realizada a valorização e a divulgação, as quais são etapas que complementam-se, sendo a valorização responsável por compor informações das unidades de geodiversidade funcional de forma simplificada e de fácil compreensão, auxiliando os gestores municipais e a comunidade a reconhecer seu valor e a divulgação é responsável por disseminar estas informações. Esta etapa pode ser realizada através da publicação de artigos científicos, *folders* ilustrativos e por palestras.

Por fim, Brilha (2005) também propõe a monitorização das unidades. Para tanto, no caso das unidades de geodiversidade funcional propõe-se que o banco de dados com as intervenções antrópicas que já existem na área, associadas ao índice de geoconservação da geodiversidade funcional possam ser trabalhadas tanto pelo poder público, quanto por Organizações Não Governamentais (ONGs), desde que possam estar conectadas através de uma rede comum, proporcionando continuas atualizações.

Esse banco de dados pode ser utilizado pelos órgãos públicos municipais e/ou estaduais, para que as áreas tenham o amparo legal de restrições na ocupação nas áreas mais sensíveis. Conseqüentemente, o banco de dados pode ser atualizado anualmente, possibilitando o planejamento urbano e rural, com bases nas características do meio físico, possibilitando que a qualidade e a manutenção da quantidade das águas subterrâneas sejam geoconservados para as atuais e futuras gerações.

(V) **Avaliação dos resultados** é baseada na análise crítica das etapas que foram aplicadas para que possam ser feitas proposições de melhorias na metodologia, além de confrontar as características naturais descritas nas etapas, com documentos que possuam diretrizes significativas para o ordenamento e para a gestão territorial da área em estudo, estes documentos podem ser de âmbito municipal, estadual ou nacional, e deve ser selecionado de acordo com a relevância da área de estudo perante as diretrizes aplicáveis. Tendo por base esta etapa, é possível avaliar as principais estratégias que podem ser adotadas para minimizar os impactos na geodiversidade funcional.

#### *4.2 Aplicação do Método na Área de Estudo*

Tendo por base as etapas do método proposto, nesta seção apresentaremos o passo a passo realizado na aplicação do índice de geoconservação da geodiversidade funcional nas sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP.

##### 4.2.1 Caracterização das Sub-bacias Água Quente e Água Fria, município de São Carlos-SP

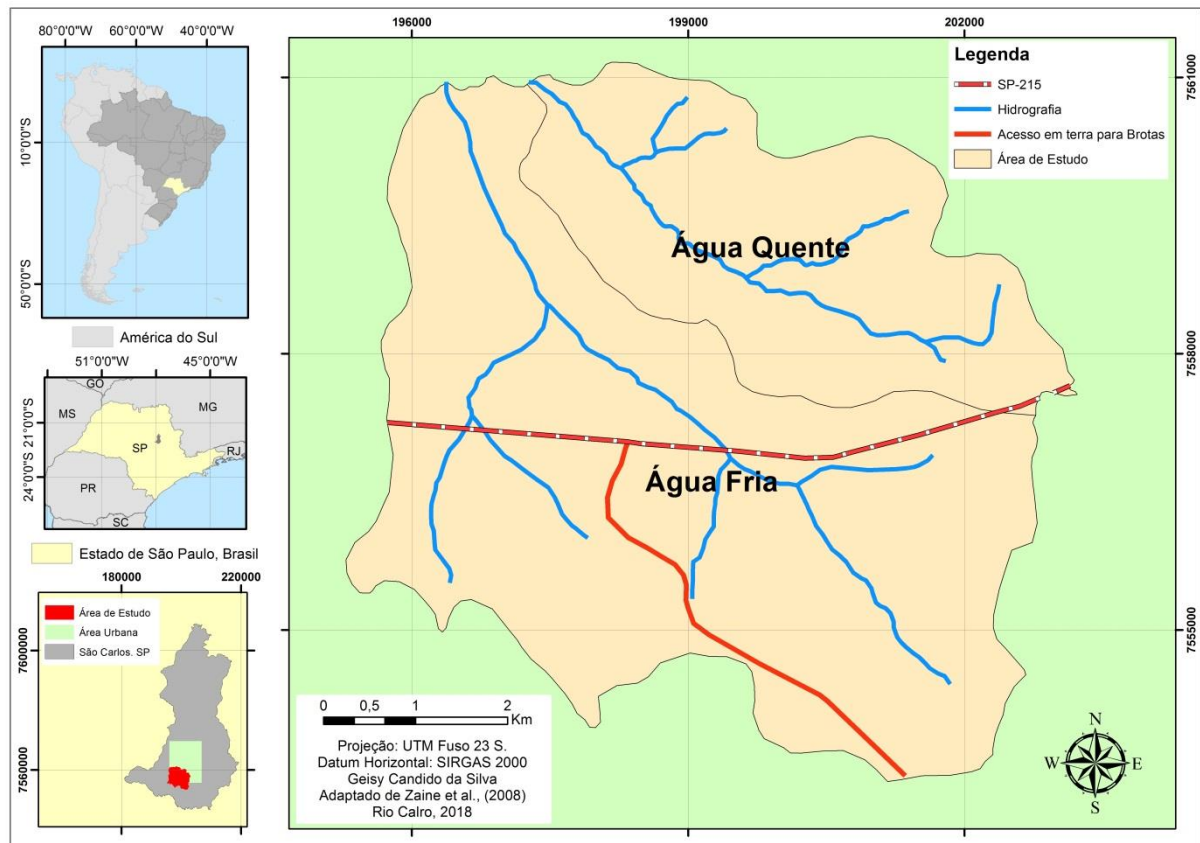
O município de São Carlos-SP localiza-se na região central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 47°30' e 48°30' de longitude oeste. Seu território é de 1.136,907km<sup>2</sup>, comportando uma população estimada de 246.088 habitantes (IBGE, 2018).

As sub-bacias Água Quente (12,97km<sup>2</sup>) e Água Fria (29,9km<sup>2</sup>) pertencem a Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolinho, localizadas na porção sudoeste da área urbana de São Carlos-SP.

O Córrego Água Quente está inserido em área de expansão urbana, estando praticamente todo urbanizado (GOMES; DANTAS-FERREIRA, 2012). Já o Córrego Água Fria encontra-se em área de transição entre a zona periurbana e zona rural.

Ambas as sub-bacias apresentam degradação ambiental, resultante da intervenção antrópica rápida e desconexa das características do meio físico, gerando inúmeros problemas ambientais (PONS, 2004), como por exemplo, erosão, assoreamento dos corpos hídricos, impermeabilização do solo, déficit de recarga de unidades aquíferas e contaminação (FIGURA 4).

**Figura 4** - Localização das microbacias Água Quente e Água Fria no município de São Carlos-SP.



#### **4.2.1.1 Geomorfologia e Pedologia**

Segundo Gonçalves (1986), a região do Estado de São Paulo, onde se inclui o município e São Carlos-SP, faz parte da província geomorfológica das “cuestas basálticas e de arenito”, localizadas entre as províncias do Planalto Ocidental e a Depressão periférica Paulista (PONS, 2004).

O Córrego Monjolinho nasce na borda da *cuesta* localizada a sudoeste da área urbana de São Carlos, com altitude superior a 900m, seu fluxo segue para o norte e percorre o reverso da *cuesta*. Posteriormente, o fluxo segue para as áreas oeste e sul, até atingir a Cabeceira do



Monjolinho, com queda d'água de 30m localizadas no *front* da *cuesta*, no setor sudoeste da cidade (PONS, 2004).

A bacia do Córrego Monjolinho delimita topograficamente a maior parte das sub-bacias urbanas, do reverso da *cuesta*. Bairros mais recentes romperam esse delineamento, expandindo no sentido oposto dos limites da bacia.

O Planalto de São Carlos é representado pelas formações geológicas Botucatu (Grupo São Bento), localizado na parte abaixo das *cuestas*; Serra Geral (Grupo Bento), na estreita região das *cuestas*, onde ocorre a quebra do relevo (encostas); Formação Itaqueri (Grupo Bauru), localizada no reverso das *cuestas*, onde encontram-se a maior parcela dos núcleos urbanos da cidades, além de formações superficiais (GONÇALVES, 1986; PONS, 2004).

Segundo Zaine et al., (2008), em mapeamento geológico realizado em escala de 1:100.000, a área também possui a formação Piramboia, em seu delineamento, representada por arenitos com grãos arredondados e esféricos, com níveis de lamitos e estratificações cruzadas de médio a grande porte; e Aluviões, compostos por areias e argilas, as quais estão associadas as áreas de várzeas.

#### **4.2.1.2 Hidrografia**

O município está localizado sobre o divisor de águas das bacias hidrográficas do Rio Mogi-Guaçu e Tietê. Essa característica faz com que São Carlos tenha uma localização elevada no Estado de São Paulo, e a grande parte dos cursos d'água que drenam a área urbana, possuem nascentes dentro do próprio município, ou seja, a qualidade da água é deteriorada pelas atividades antrópicas do próprio município (PONS, 2004).

Os principais córregos que drenam a área urbana de São Carlos são: Córrego do Monjolinho, Mineirinho, Gregório, Tijuco Preto, Medeiros, Lazarini, Água Quente e Água Fria, compondo a bacia do Ribeirão Monjolinho, o qual flui no sentido leste-oeste (PONS, 2004).

#### **4.2.1.3 Clima**

Segundo a classificação de Köppen, o clima apresenta-se como o temperado úmido, com inverno seco e verão quente (Cwa), caracterizando duas estações bem definidas, uma seca de abril a setembro e outra chuvosa de outubro a março, com precipitação média anual de

1.422,8mm, temperatura média anual de 21,2°C, com mínima média de 15,3°C e máxima de 27°C (CEPAGRI, 2016).

#### **4.2.1.4 Vegetação**

O domínio fitogeográfico é o do Cerrado, apresentando diversos fragmentos primários de cerradão (fisionomia florestal de Cerrado), mata ciliar, várzeas e fragmentos secundários em diversos estágios de regeneração, representando obstáculos para a conservação dos remanescentes nativos, uma vez que a paisagem é bastante fragmentada (SOARES, 2003).

#### **4.2.2 índice de Geoconservação da Geodiversidade Funcional**

Foi realizado o levantamento de dados pré-existentes e estudos já realizados nas microbacias, que auxiliaram na caracterização do meio físico, contendo cartas topográficas, cartas geológicas, cartas geomorfológicas, cartas pedológicas, imagens de satélite e fotografias aéreas.

Com base na folha topográfica SF-23-Y-A-I-1-NO-D do Instituto Geográfico e Cartográfica (IGC) em escala de 1:10.000, com curvas de nível equidistante 5metros, de 1978 (IGC, 1978), foi realizada a digitalização das curvas e dos pontos cotados no *software ArcGis*® 10.2, gerando o Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno, através do interpolador TIN, em escala de 1:20.000, gerando os mapas de declividade e relevo sombreado, que foram utilizadas posteriormente para conferências dos limites dos compartimentos fisiográficos encontrados na fotoanálise.

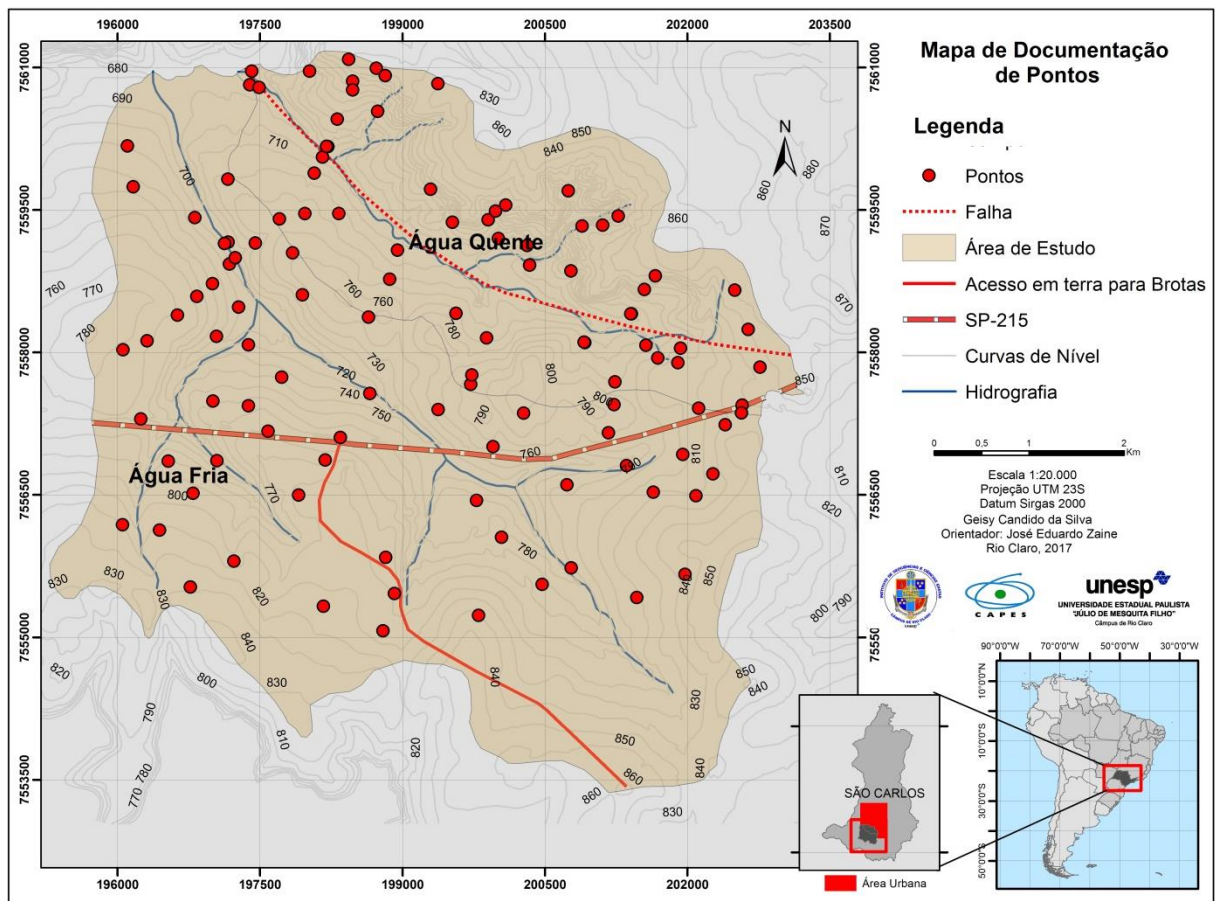
A digitalização das curvas de nível, também resultou em um mapa de declividade que teve suas classes separadas em cinco intervalos. Segundo Zaine (2011), estas classes de declividade podem ser agrupadas em três categorias, pois expressam comportamento similar ao analisar suas propriedades. Para tanto, o intervalo deve ser convertido para porcentagem, gerando as seguintes classes: de 0-10% considerada de baixa declividade, 10-30% considerada de média declividade e 30-45% considerada de alta declividade.

Com as fotografias aéreas das microbacias, em resolução espacial de 1:35.000, preto e branco de 1978, aplicou-se a metodologia de fotointerpretação proposta por Zaine (2011), somada a trabalhos “in situ” e a revisão bibliográfica de pontos de estudos existentes (BORTOLUCCI, 1983; AGUIAR, 1989; MURO, 2000; PONS, 2004), os quais possibilitaram

elaborar um mapa de documentação de pontos descritos e/ou amostrados na área de estudo (FIGURA 5).

Esses pontos auxiliaram na definição dos contatos dos limites encontrados na compartimentação fisiográfica, posto que os autores caracterizaram suas amostras por meio de dados quantitativos das propriedades geológicas e geotécnicas, que são representativos para os estudos da análise integrada da paisagem no tocante da identificação de pontos homólogos em áreas que há dúvidas no traçado do contato das unidades de compartimentação fisiográfica.

**Figura 5-** Mapa temático de documentação de pontos.



Para que esta informação pudesse ser utilizada, os mapas de documentação dos autores supracitados foram digitalizadas, atribuindo aos pontos marcados a mesma numeração utilizada pelo autor dentro do bando de dados criado no software de geoprocessamento Arcgis v. 10.2.

Esta etapa foi realizada pensando-se na necessidade dos pontos serem identificados com facilidade auxiliando na melhoria do traçado dos limites das unidades de compartimentação fisiográfica.

As unidades delimitadas na compartimentação fisiográfica foram verificadas “in situ”, onde avaliou-se a homogeneidade, similaridade e os limites das zonas, além fornecer informações de locais específicos, auxiliando na identificação e caracterização das unidades geológicas e no grau de variabilidade da unidade.

Nos trabalhos “in situ”, foram utilizadas fichas, contendo os quesitos observados em forma de check-list (TINÓS, 2011): i) solo – espessura, cor, granulometria, coesão/consistência e composição; ii) relevo – determinação do sistema de relevo (PONÇANO et al., 1981) e declividade da área; iii) material rochoso – aflorante, sub-aflorante, blocos, etc, assim como suas dimensões, tipo de rocha, textura e granulometria; iv) perfil de alteração – material alterado, espessura, composição dos horizontes e esquematização do perfil; v) processos geológicos – determinar ocorrência e tipo de processo; vi) uso e cobertura da terra – tipo, forma e densidade do uso e cobertura.

Os dados da compartimentação e das verificações “in situ”, representados inicialmente em papel transparente, foram escaneados, georreferenciados e digitalizados no ArcGis® 10.2, resultando na elaboração do mapa de compartimentação fisiográfica.

As unidades obtidas nesse mapa foram descritas e utilizadas para caracterizar a geodiversidade funcional e seus diferentes níveis de vulnerabilidade natural.

Concomitantemente, foi elaborada a análise multitemporal da evolução dos usos e coberturas da terra das sub-bacias, possibilitando identificar os principais avanços antrópicos ocorridos na área.

Para tanto, foram elaborados dois mapas do uso e cobertura da terra, uma para o ano de 1978 utilizando as mesmas fotografias aéreas utilizadas para realizar a compartimentação fisiográfica, com resolução espacial para o mapeamento na escala de 1:20.000 e uma para o ano de 2017, utilizando imagens do satélite Sentinel, com resolução espacial também para o mapeamento em escala de 1:20.000.

Após a análise comparativa dos percentuais dos avanços dos usos e coberturas da terra neste período, foi elaborado o mapa índice da geoconservação da geodiversidade funcional, utilizando a metodologia *fuzzy* e tendo como mapa base os usos e coberturas da terra do ano de 2017 e o mapa de geodiversidade funcional. Por fim, foram avaliadas as estratégias de

geoconservação que podem ser adotadas, considerando as diretrizes propostas pelo Plano Diretor de São Carlos-SP (PMSC, 2016).

É importante salientar, que para o município de São Carlos-SP, optou-se em analisar o Plano Diretor Municipal, mas para outras realidades, é preciso avaliar se este documento é o melhor instrumento de política urbana e de ordenamento territorial para ser utilizado neste tipo de análise.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

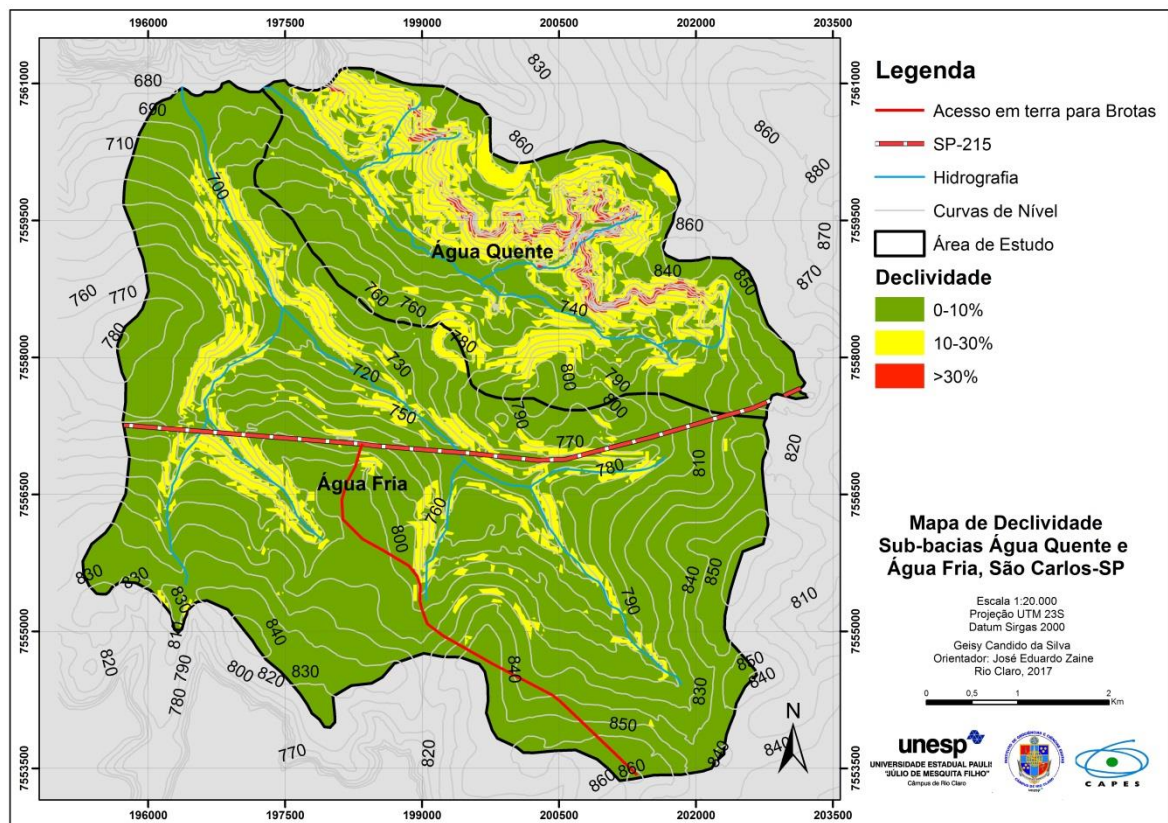
Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do método proposto no estudo referente ao índice de Geoconservação da Geodiversidade Funcional aplicado as sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP.

### 5.1 Compartimentação Fisiográfica e Caracterização das Zonas Homólogas

Nas sub-bacias há predominância de declividade entre 0-10% (80,6% da área), abrangendo grande área da sub-bacia Água Fria e parte sudeste e sudoeste da sub-bacia Água Quente.

Na parte central da sub-bacia Água Quente há concentração das médias (6,6%) e altas (1,3%) declividades da área de estudo, chegando a declividades de 75%. Estas áreas mais íngremes mostram-se impróprias para construção antrópica e por isso abrangem áreas recortadas por vegetação (FIGURA 6).

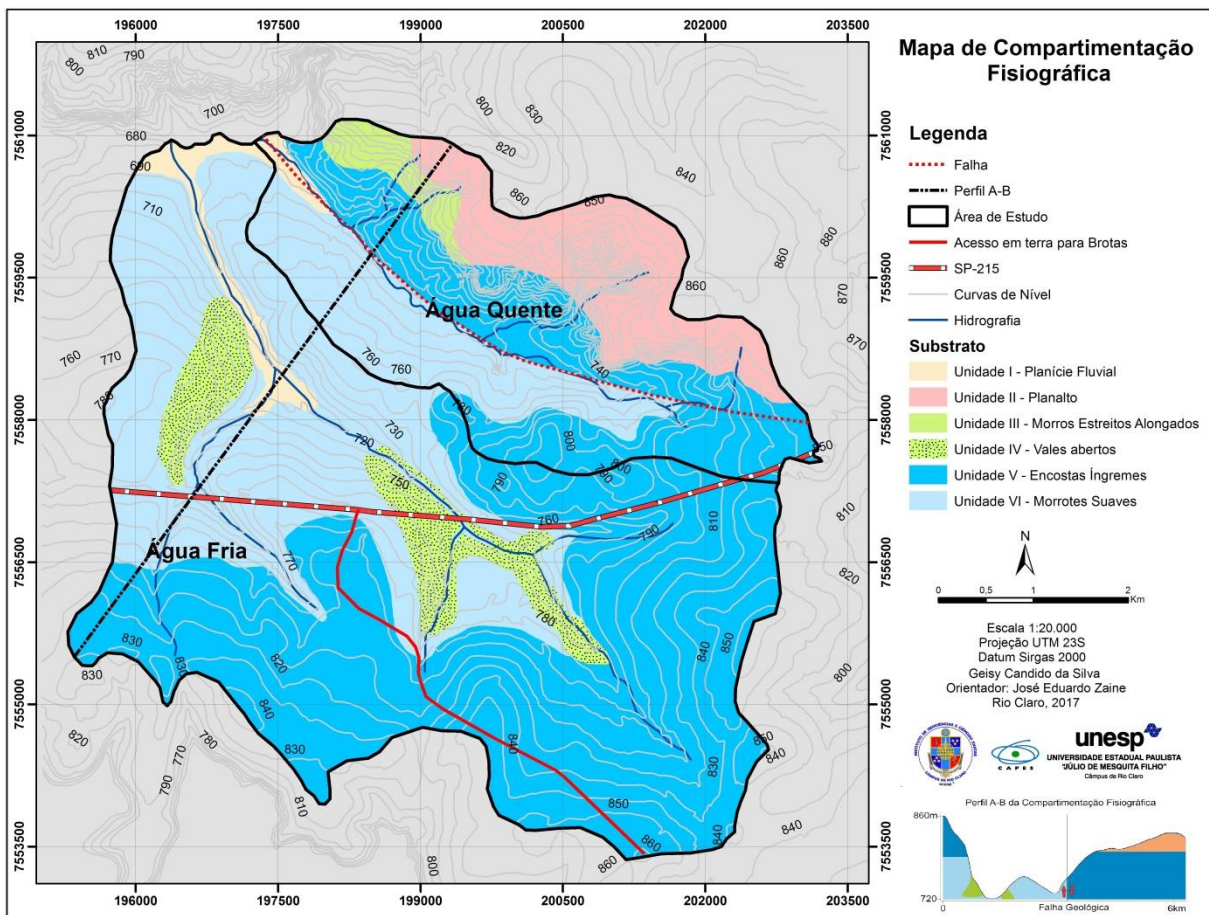
**Figura 6-** Mapa de declividade, das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP.



As altas declividades da área de estudo estão relacionadas a forma de relevo encontrada na sub-bacia Água Quente, a qual possui característica acidentada devido as diferentes propriedades dos compartimentos fisiográficos encontrados entre a área de planalto e a área de depressão periférica. As altitudes da área variam entre 680 a 890 metros.

A compartimentação fisiográfica da área resultou em seis unidades (FIGURA 7) (APÊNDICE I), Unidade I – Planícies fluviais, Unidade II – Planalto, Unidade III – Morros Estreitos Alongados, Unidade IV – Vales abertos, Unidade V – Encostas Íngremes, e Unidade VI – Morrotes suaves, as quais foram descritas utilizando informações extraídas da fotorinterpretação, dos trabalhos “in situ”, das fichas de campo e em revisão bibliográfica (MURO, 2000).

**Figura 7-** Mapa de compartimentação fisiográfica das sub-bacias Água Quente e Água Fria, do município de São Carlos-SP.



**Unidade I – Planícies aluvionares:** ocorre em áreas restritas da área de estudo e é composta por materiais arenosos, argilosos e siltsos, resultantes de deposições recentes,

posto que estão contidas em áreas de planícies aluvionares. A unidade é rica em matéria orgânica, apresenta baixa declividade (cerca de 2%) e espessuras variadas de difícil identificação. A coloração varia em sua extensão, porém mantem tonalidade que variam entre amarelo claro e cinza claro.

**Unidade II – Planalto:** Possui granulometria composta por areia fina a média e argila arenosa, apresentando coloração avermelhada com presença de pedregulhos em algumas porções, a espessura desta unidade varia de um a dois metros, e está posicionada nas cotas altimétricas de maior altitude da sub-bacia Água Quente, que é em torno de 850metros (FIGURA 8).

**Figura 8-** Área característica da unidade Planalto, localizada na sub-bacia Água Quente, São Carlos-SP.



*Fonte: Zaine (2004).*

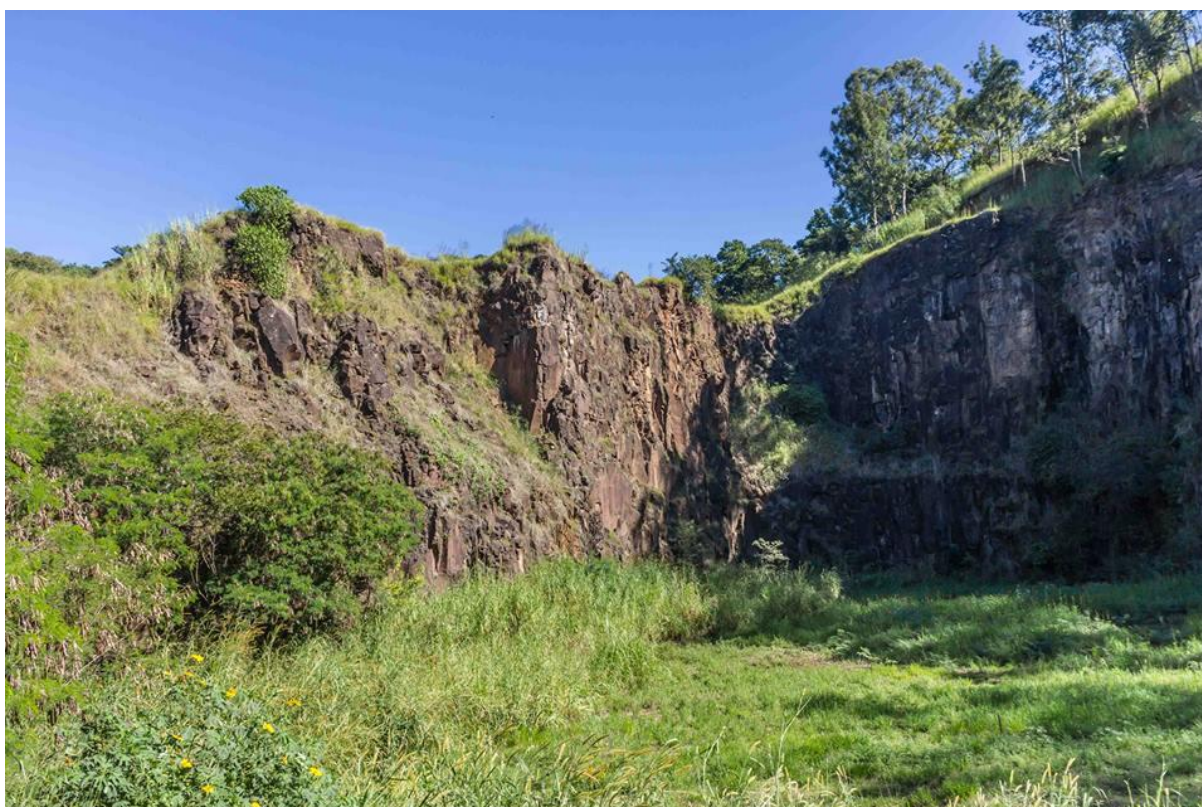
Segundo Muro (2000) esta unidade possui a areia fina (60%) como material principal, seguindo de areia média (2 a 20%), silte (5 a 28%), e argila (10 a 63,5%). A massa específica dos sólidos está entre 2,57 a 2,80g/cm<sup>3</sup>, o índice de vazios entre 0,74 a 1,06, e a massa específica seca entre 0,74 a 1,72g/cm<sup>3</sup>, a plasticidade de até 17% e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do material esta entre 9,5 a 10,1Cmol/kg.



**Unidade III – Encostas Ingrímes:** apresenta textura predominantemente argilosa, com pequena contribuição de areia fina, possui perfil pouco profundos e portanto pouca espessura de material inconsolidado, variando de acordo com a estrutura e textura do substrato original que constitui a unidade (FIGURA 9) (MURO, 2000).

Segundo Muro (2000), esta unidade apresenta areia fina entre 10 a 35%, silte entre 20 a 35% e argila entre 25 a 60%, índice de plasticidade igual a 20%, índice de liquidez igual 56%, a massa específica dos sólidos está entre 2,72 a 2,92g/cm<sup>3</sup> e o índice de vazios entre 0,8 a 1,59.

**Figura 9-** Feição representativa da unidade de morros estreitos e alongados, localizadas em uma pedreira desativada na sub-bacia Água Quente.



**Unidade IV – Vales abertos:** Constituem os vales presentes na sub-bacia Água Fria, constituídos por encostas côncavas e convexas, ambas suaves, com declividades inferiores a 15%, e com profundidades menores que 10 metros. O material que constitui essa unidade tem características similares ao material que está presente na Unidade III. No entanto, nesta está

presente no fundo dos vales, deixando os canais menos profundos e com as margens mais distanciadas.

**Unidade V – Colinas Alongadas:** representadas por encostas íngremes côncavas com declividade superior a 20% e apresenta profundidade de material inconsolidados menor que 2 metros (FIGURA 10).

As areias médias constituem de 70-80% da granulometria do material, areia fina entre 2 e 20%. e argila até 10%. A massa específica dos sólidos está entre 2,61 a 2,64g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca de 1,48 a 1,74g/cm<sup>3</sup>, e índice de vazios de 0,51 a 0,74 (MURO, 2000).

A massa específica seca máxima está entre 1,83 a 1,98g/cm<sup>3</sup>, a umidade ótima entre 8,5 a 11,5%, o coeficiente de permeabilidade varia entre 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-2</sup>cm/s (PONS, 2004)

A CTC desta unidade encontra-se entre 16,2 a 29,8Cmol/kg, o principal mineral constituinte desta unidade é o quartzo, sendo a fração de argila representada pela caulinita (PONS, 2004).

**Figura 10** - Encosta íngreme da sub-bacia Água Quente, município de São Carlos-SP.



*Fonte: Zaine (2004).*

**Unidade VI – Morrotes suaves:** apresenta declividades variadas entre 2 a 10% e foi definida por apresentar grande homogeneidade das formas do relevo por toda a superfície da área de estudo, considerando sua abrangência tanto na sub-bacia do Córrego Água Quente, quanto do Córrego Água Fria.

O material inconsolidados desta unidade apresenta grandes profundidades variando entre 10 a 20 metros. A areia predominante é fina (60 a 80%), com areia média (5 a 18%), e argila podendo chegar a 25% (MURO, 2000).

A massa específica dos sólidos varia de 2,61 a 2,62 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca entre 1,47 a 1,63 g/cm<sup>3</sup>, e índices de vazios entre 0,61 a 0,77. A massa específica seca máxima varia de 1,82 a 1,90 g/cm<sup>3</sup>, e a umidade ótima de 12,5 a 13,6%. O coeficiente de permeabilidade oscila de 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-3</sup> cm/s (MURO, 2000).

Com base nas informações obtidas na caracterização fisiográfica, os dados foram interpretados considerando suas propriedades geotécnicas e outras inferências que auxiliam na caracterização da geodiversidade funcional, e que posteriormente foram convertidas em dados quantitativos para que se pudesse aplicar o método descrito na seção 4.

**Unidade I – Planícies fluviais:** alta permeabilidade, relação escoamento superficial/infiltração baixa, possui grande espessura do manto de alteração (>5metros). Assim, a profundidade do topo rochoso desta unidade é profunda, posto que a mesma recebe deposição constante de materiais e está localizado em áreas planas de baixa declividade na área de estudo, apresentando baixa resistência à erosão natural.

A geodiversidade funcional nesta unidade expressa-se como uma área de recarga, posto que o acúmulo de água nas áreas planas favorece a interação entre os geossistêmicas subterrâneos e superficiais. Apesar de esta conexão ser lenta, em decorrência da espessura dos materiais que compõem a unidade, este movimento é de grande significância para a recarga do nível d'água, posto que nesta unidade não há propriedades que confinam o fluxo da água; e também no processo de lixiviação, eliminando impurezas da água.

**Unidade II – Planalto:** média permeabilidade, média relação do escoamento superficial/infiltração, profundidade do topo rochoso e espessura do material inconsolidados intermediária. Essas características tornam-se significativas ao unir estas informações com as características dos materiais da unidade, o qual possui contribuição de areias e argilas, em proporções equivalentes. Ademais, está unidade encontra-se em áreas planas e apresenta média resistência à erosão natural.

Essa unidade possui médio-alto potencial de armazenamento e transmissão da água subterrânea, mostrando-se como uma unidade não confinada e que pode ser considerada uma área de recarga indireta de outros aquíferos mais profundos. Segundo dados obtidos na literatura, esta unidade é integrante do aquífero Itaqueri e nas áreas em que ocorrem as “janelas de basalto” na área em estudo, conecta-se as camadas de recarga do aquífero Guarani (ROCHA, 2005).

**Unidade III – Morros estreitos alongados:** permeabilidade baixa, relação escoamento superficial/ infiltração baixa e pequena espessura do manto de alteração. A unidade possui alta resistência à erosão natural, rasa profundidade do topo rochoso e da espessura dos materiais inconsolidados. Esta unidade apresenta baixo grau de fraturamento e de permeabilidade fissural. Além disso, esta unidade é encontrada em áreas de declividade entre 10-15%.

Essa unidade possui baixo potencial de armazenamento e transmissão das águas subterrâneas, porém o fato da unidade apresentar fraturas faz com que estas possam conter significativas quantidades água armazenada, apresenta-se como área não confinada.

**Unidade IV – Vales abertos:** permeabilidade baixa, relação escoamento superficial/ infiltração baixa e pequena espessura do manto de alteração. A unidade possui alta resistência à erosão natural, rasa profundidade do topo rochoso e da espessura dos materiais inconsolidados, porém o grau de fraturamento e de permeabilidade fissural é médio, e a unidade encontra-se em áreas de declividade <10%, distinguindo neste aspecto, das propriedades interpretadas na Unidade III.

Essa unidade possui médio potencial de armazenamento e transmissão das águas subterrâneas. Isto deve-se ao médio grau de fraturamento de sua estrutura, que podem além de conter quantidades significativas de águas subterrâneas, estarem conectadas.

**Unidade V – Encostas Íngremes:** apresentam alta - média permeabilidade, alta a média relação de escoamento superficial/ infiltração, média a baixa espessura do manto de alteração, média resistência à erosão natural e média profundidade do topo rochoso e da espessura dos materiais inconsolidados.

Essa unidade esta presente em áreas de alta e média declividade (15% a 45%), as quais possuem diferentes comportamentos com a ação do intemperismo, que estão diretamente relacionadas ao grau de exposição da rocha mãe e a topografia da área.

Portanto, na sub-bacia Água Quente em sua porção norte a unidade terá características em que a rocha está exposta e nas demais áreas, apresenta uma espessa de material inconsolidados, o qual apresenta alta permeabilidade e baixa resistência à erosão natural.

**Unidade VI – Morrotes suaves:** apresentam alta permeabilidade, baixa relação escoamento superficial/ infiltração, baixa resistência à erosão natural, profundidade do topo rochoso e da espessura dos materiais inconsolidados alta.

As características das unidades V e VI constituem as áreas de maior potencial de armazenamento e transmissão das águas subterrâneas, sendo partes integrantes da recarga direta do Sistema Aquífero Guarani (ROCHA, 2005).

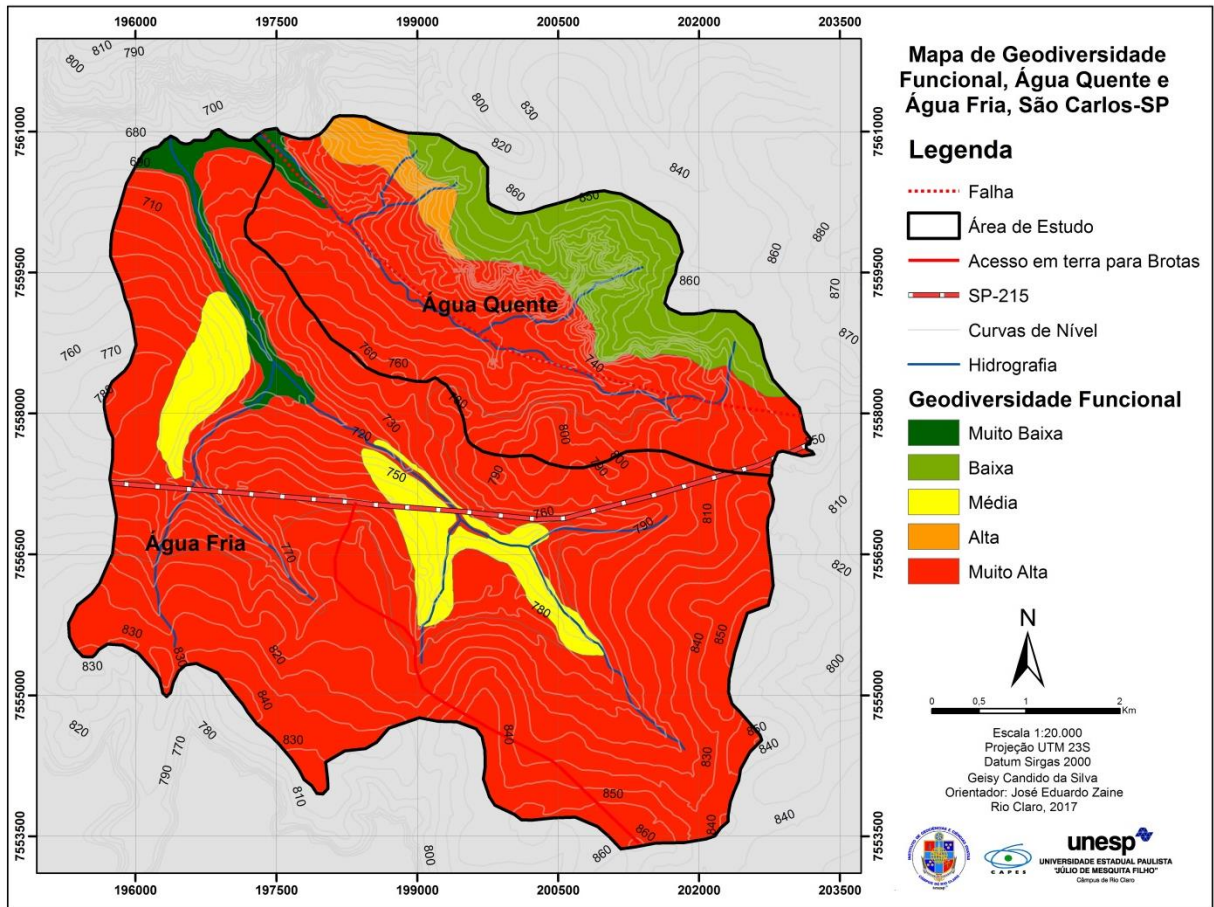
Segundo Silva e Menezes (2016), os poços que exploram águas subterrâneas destas unidades são os de maior produtividade na área de estudo, e os mesmos captam água nas camadas em que os aquíferos são livres, implicando em influências diretas entre a dinâmica dos usos e coberturas da terra e os recursos hídricos.

Expostas as características das unidades e apresentadas suas propriedades gerais em termos de contribuição para a geodiversidade funcional, especificamente do potencial aquífero, conclui-se que as unidades possuem distintos níveis de vulnerabilidade natural, considerando a necessidade de proteção das águas que elas armazenam, tanto em termos de quantidade, quanto em qualidade.

Assim, tendo por base as informações descritas anteriormente, os níveis de vulnerabilidade natural da geodiversidade funcional foram classificados da seguinte forma: Unidade I, muito baixa geodiversidade funcional (1); Unidade II, baixa geodiversidade funcional (2); Unidade III, média geodiversidade funcional (3); Unidade IV, alta geodiversidade funcional (4); e Unidades V e VI, muito alta geodiversidade funcional (5).

Considerando essa ponderação, o mapa de compartimentação fisiográfica foi convertido no mapa de geodiversidade funcional das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP (FIGURA 11), o qual em termos de atualização do banco de dados teoricamente não sofrerá alterações até se tenha novas informações das propriedades geológico-geotécnicas que possibilitem alterar os níveis de vulnerabilidade natural das unidades aquíferas, as quais foram analisadas junto às análises dos impactos causados pela dinâmica dos usos e cobertura da terra na seção 5.3.

**Figura 11-** Mapa da Geodiversidade Funcional das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP.



Avaliando o mapa da geodiversidade funcional, é possível verificar que 50% da área de estudo possui um conjunto de atributos e características geoambientais que classificam a área com **muito alto** potencial de geodiversidade funcional, e está diretamente relacionada às unidades aquíferas presentes na área, associadas às formações geológicas Botucatu e Piramboia.

Em 5% da área de estudo na região norte há uma região de alto potencial da geodiversidade funcional associado à formação geológica de basaltos, porém com alto grau de fraturamento, o que permite maior armazenamento, transmissividade e recarga das águas subterrâneas nesta unidade.

Em 12% da área de estudo ocorrem porções de média geodiversidade funcional associadas às rochas de diabásios, as quais possuem pouca conexão entre as vesículas e fraturas, conferindo a unidade essa classificação.

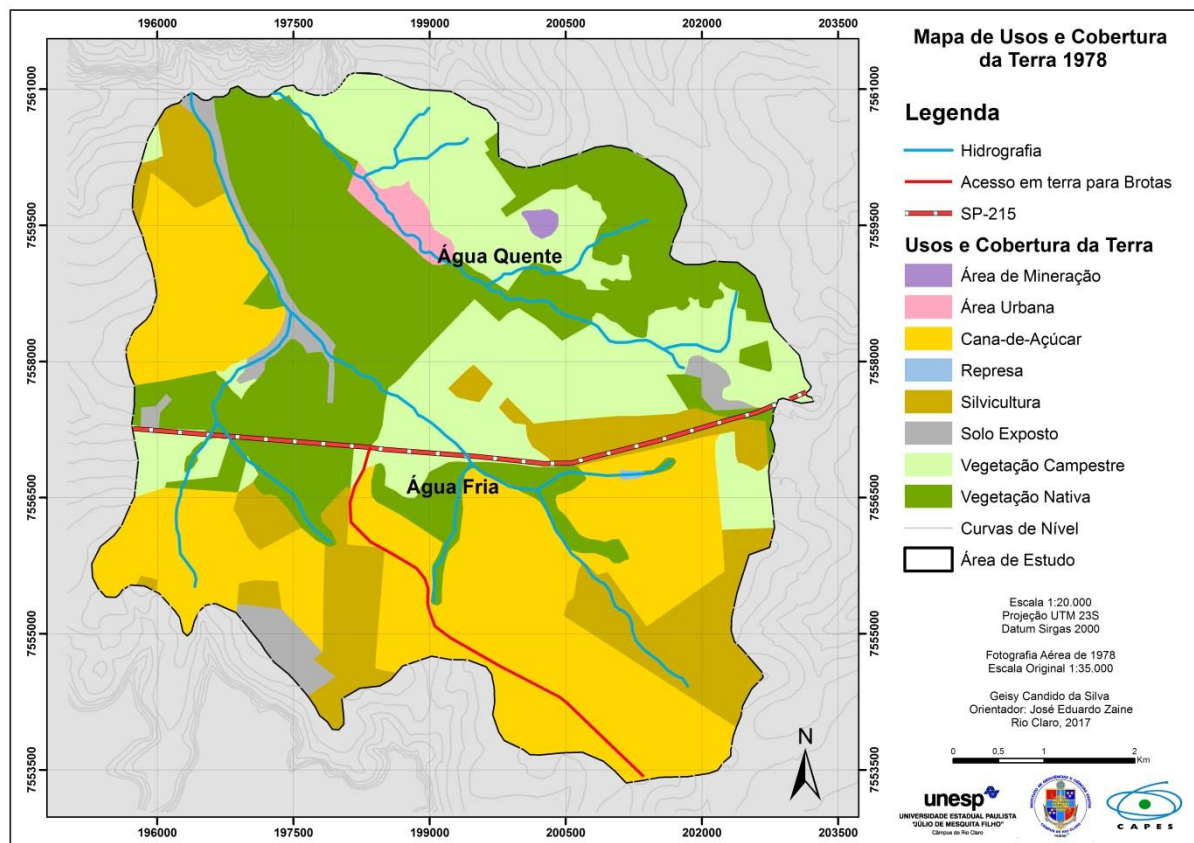
Em 24% da área há predomínio de baixa geodiversidade, associada a formação geológica Itaqueri, estendendo-se pela região norte e nordeste da área de estudo.

Em 9% da área temos áreas com muito baixo potencial de geodiversidade associado a materiais aluvionares, os quais apesar de altamente permeáveis, não possuem capacidade de armazenamento e transmissão das águas subterrâneas.

## 5.2 Análise multitemporal dos avanços antrópicos

O mapa temático dos usos e cobertura da terra digitalizada para o ano de 1978 mostra que a área possuía pouca extensão de área urbana (1,2%), tendo como uso mais expressivo o cultivo de cana-de-açúcar (31,8%) e a silvicultura (12,8%) (FIGURA 12).

**Figura 12-** Usos e coberturas da terra, das sub-bacias Água Quente e Água Fria, de São Carlos-SP, em 1978.

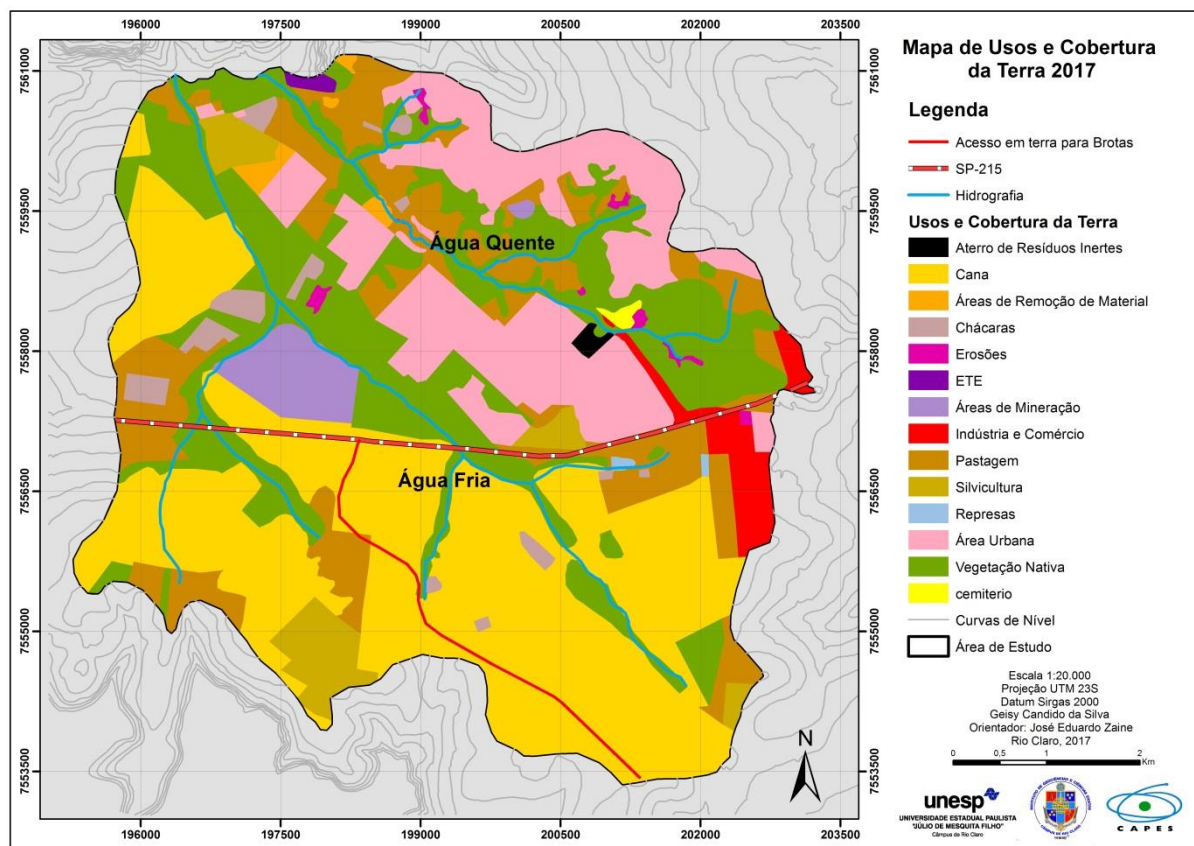


A ocupação das sub-bacias pela produção agrícola acabou impulsionando os primeiros avanços antrópicos na área degradando a vegetação nativa (22,8%), a qual acabou sendo suprimida e convertida para fins agropecuários (pastagem e cultivos).

Apesar de estas intervenções apresentarem-se bastante invasivas no geoambiente, neste período 28,1% da vegetação nativa encontrava-se em estágio clímax de sucessão ecológica, estando conservadas.

O mapa temático de usos e cobertura da terra do ano de 2017 mostra que a área tornou-se um vetor de expansão urbana da cidade de São Carlos-SP (FIGURA 13), somando 14,9% da extensão das sub-bacias, porém concentrada nos limites da sub-bacia do Córrego Água Quente.

**Figura 13-** Usos e Coberturas da terra das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP no ano de 2017.



A cana-de-açúcar ainda compõem 35% da área, estando concentrada nos limites da sub-bacia do Córrego Água Fria.

As sub-bacias representam um cenário nítido de transição dos usos agrícolas para os usos urbanos, sendo o Córrego Água Quente o mais modificado nos últimos anos, recebendo a implantação de diversos usos e ocupações do solo, como por exemplo, estação de tratamento de esgoto (ETE) (0,2%), a qual é utilizada para tratar tanto o esgoto sanitário que chega pelas tubulações movido pela gravidade de toda a montante da área, quanto para tratar o esgoto das sub-bacias, as quais utilizam-se de uma ETE elevatório, posto que a estação



principal está instalada a montante das sub-bacias. Segundo dados do IBGE (2018), a cidade de São Carlos-SP, trata 98,4% do esgoto sanitário.

A área classificada como uso misto (2,2%) compreende áreas de indústrias e comércios em geral, as quais possuem em suas atividades substâncias potencialmente contaminantes, diferentes das que poderiam atingir o geoambiente, seja em complexidade dos compostos, seja em quantidade.

Estas intervenções na dinâmica de uso e ocupação do solo resultaram em áreas bastante erodidas (0,4%), e na retirada de materiais para uso de atividades relacionadas ao município abrindo cavas (0,6%) em partes da sub-bacia Água Quente.

Tratando-se do meio agrícola, é importante ressaltar que a presença do cultivo de silvicultura em 2017 (3,3%), é menor do que o observado em 1978, caracterizando melhorias na conservação da geodiversidade funcional da área, posto que esta cultura que necessita de muita absorção de água do subsolo para manter o desenvolvimento.

Para facilitar a observação das alterações sofridas nas sub-bacias nesse período, foi elaborada uma tabela síntese das porcentagens dos usos e coberturas da terra de cada ano em análise, com seu respectivo grau de potencial contaminante contido de Izaki e Iritani (2010) (TABELA 2).

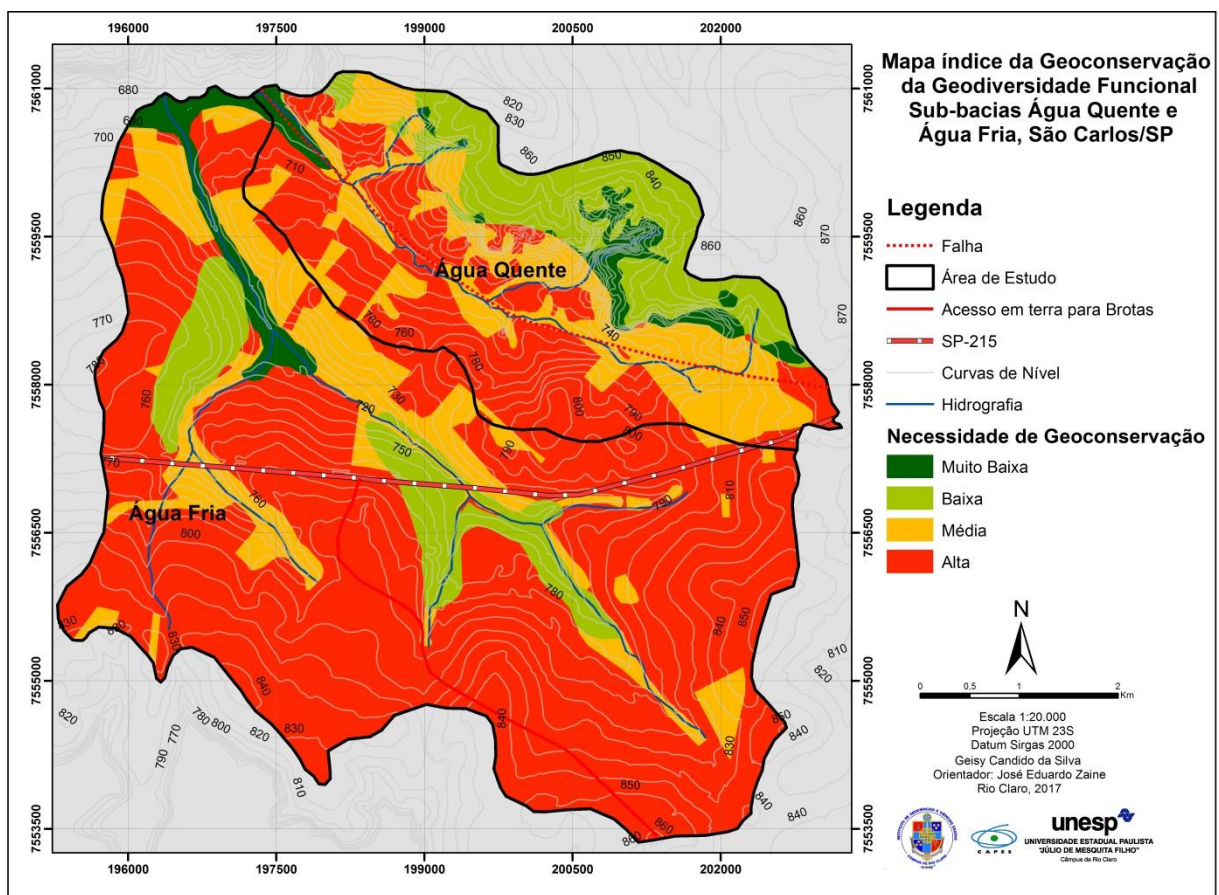
**Tabela 2** - Dados comparativos das porcentagens de usos e ocupações da terra nos anos de 1978 e 2017, das sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP.

<b>Usos e Coberturas da Terra</b>	<b>1978</b>	<b>2017</b>	<b>Potencial Contaminante</b>
<b>Urbano</b>	1,2%	16,7%	2
<b>Silvicultura</b>	12,8%	3,3%	2
<b>Vegetação Nativa</b>	28,1%	23,8%	1
<b>Vegetação degradada</b>	22,8%	-	1
<b>Pastagem</b>	-	14,1%	2
<b>Cana-de-Açúcar</b>	31,8%	35,8%	2
<b>Solo Exposto</b>	3,1%	-	1
<b>Cavas</b>	-	0,6%	1
<b>Erosão</b>	-	0,4%	1
<b>Usos Mistos</b>	-	2,2%	3
<b>Aterro Sanitário</b>	-	0,2%	2
<b>Cemitério</b>	-	0,2%	1
<b>ETE</b>	-	0,2%	3
<b>Mineração</b>	0,2%	2,5%	2

### 5.3 índice de Geoconservação da Geodiversidade Funcional

Com base no método proposto é possível observar que unindo as características naturais das unidades da compartimentação fisiográfica com as ameaças que os usos e coberturas da terra trazem para a geodiversidade funcional, teremos o mapa Índice de Geoconservação da Geodiversidade Funcional, que quando interpretado expressa à necessidade de geoconservação da área de estudo como um todo. Os resultados da composição espacial do índice podem ser observados na Figura 14.

**Figura 14-** Mapa Índice da Geoconservação da Geodiversidade Funcional, nas sub-bacias Água Quente e Água Fria, São Carlos-SP.



O mapa resultou em 4 níveis de fragilidade da geodiversidade funcional, que também pode ser interpretada como níveis prioritários e não prioritários para a geoconservação, sendo considerados em ordem crescente.

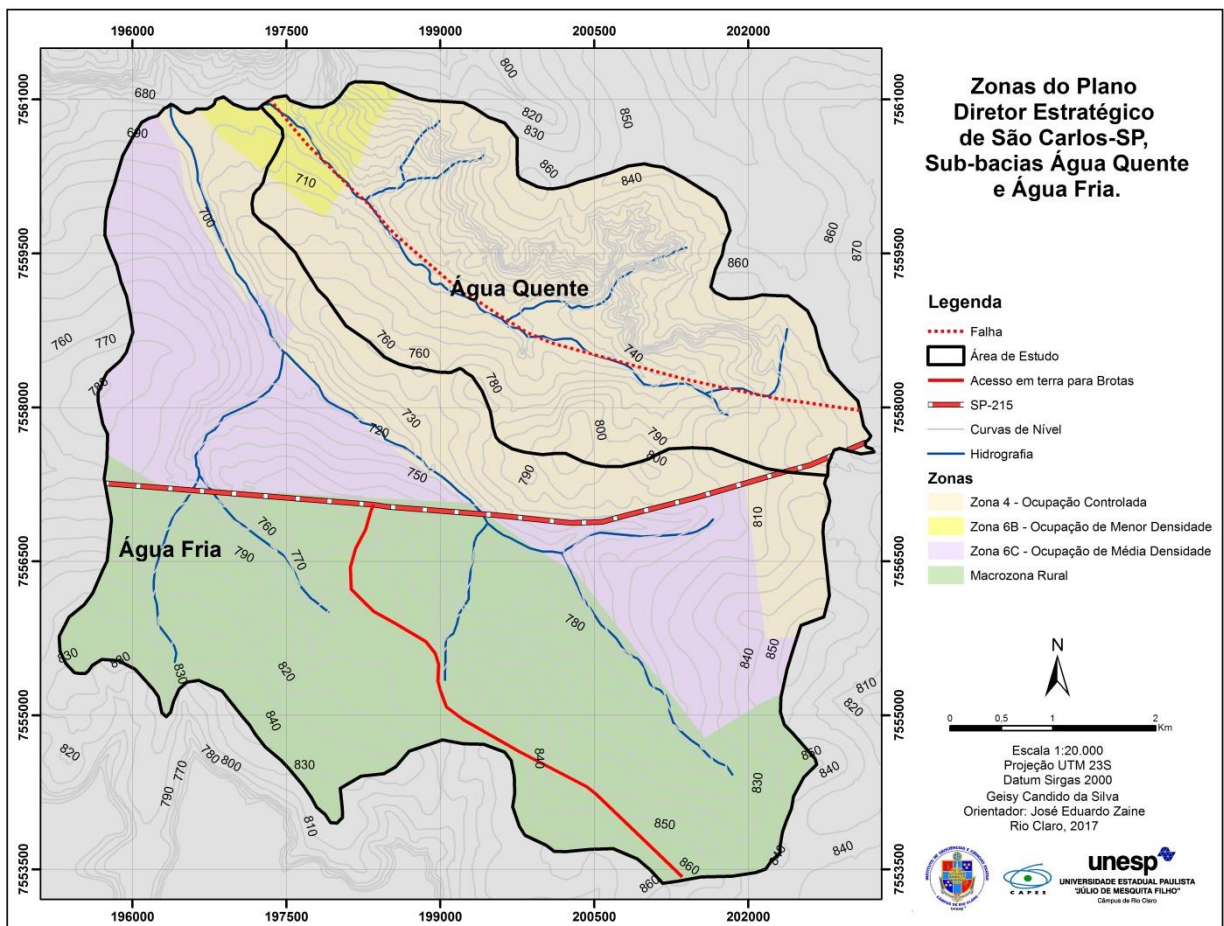
Interpretando o mapa é possível verificar que as áreas que apresentam média e alta necessidade de geoconservação, são as que combinam as unidades V e VI, com usos

antrópicos de elevado e moderado grau de interferência no geossistema, esse resultado mostra que o método é capaz de expressar espacialmente as necessidades de cada unidade frente os usos e coberturas da terra.

Assim, é possível observar que 32% da área possui alta necessidade de geoconservação da geodiversidade funcional, posto que nos outros 18% de área de muito alto potencial de geodiversidade os usos do solo impactam em menor grau o geossistema.

Para avaliar se a área apesar de fragilizada possui controle de ordenamento, planejamento e gestão, avaliou-se o Plano Diretor Estratégico do Município de São Carlos-SP (FIGURA 15), verificando as zonas que contemplam as sub-bacias e analisando se estas zonas contribuem ou não para a geoconservação das unidades.

**Figura 15-** Zonas do Plano Diretor municipal que abrangem a área de estudo.



Na área de estudo existem quatro zonas propostas pelo Plano Diretor Municipal: **Zona 4**, ocupação controlada; **Zona 6B**, ocupação de menor densidade; **Zona 6C** ocupação de média densidade e **Macrozona rural** (PMSC, 2016).

A zona 4, está localizada na região sul do município, e tendo como limite a Zona 3 e o divisor de águas da bacia do Córrego Água quente. A zona tem como característica a presença de bairros que comportam população de baixa renda ou situação de vulnerabilidade social. Essa zona demanda melhoria em infraestrutura e interligação com a malha urbana consolidada. Dentre as diretrizes propostas para a zona, o plano pretende manter as áreas verdes significativas, que compreendem as Áreas de Preservação Permanente (APP), localizadas no Córrego Água Quente (PMSC, 2016).

Conseqüentemente, esta zona pretende conservar as áreas que no mapa índice da Geoconservação da Geodiversidade Funcional aparece em alta e média necessidade de geoconservação, sendo um fator positivo para a área.

Zona 6B localiza-se próxima a malha urbana consolidada, em áreas com aptidão para a urbanização, porém a zona apresenta características físico-ambientais que exigem controle na ocupação e adensamento planejado. O plano diretor prevê que nessa zona ocorra o controle da ocupação, como medida de gestão do bem público, da drenagem urbana e da conservação do meio ambiente e proteger e recuperar áreas ambientalmente frágeis (PMSC, 2016).

Esta zona prevê diretrizes com estrutura mais acurada quanto às questões ambientais e podem ser utilizadas para proteger as áreas de alta fragilidade das águas subterrâneas presentes na bacia do Córrego Água Quente (PMSC, 2016).

A Zona 6C localiza-se em regiões periféricas à área urbana consolidada, em áreas que necessitam de uma urbanização controlada com baixos índices de ocupação e densidade, devido às suas características físico-ambientais e de infraestrutura. Para dar suporte a esta área, as diretrizes previstas consistem em: I - controlar a ocupação do solo nesta zona, como medida necessária à gestão do território, à qualidade de vida e à conservação do meio ambiente; II - proteger e recuperar áreas ambientalmente frágeis; III - proteger e recuperar as Áreas de Preservação Permanente e instituir, junto aos córregos das bacias do Gregório e do Água Fria, as Faixas Verdes Complementares de 30 (trinta) metros além das APPs; IV - prever e implantar as diretrizes de infraestrutura para a correta captação de água e destinação do esgoto; VII - prever infraestrutura de drenagem capaz de suportar precipitações com o período de retorno de 100 (cem) anos (PMSC, 2016).

Coma base nestas diretrizes é possível verificar que a prefeitura tem conhecimento das necessidades de conservação destas áreas, e o que torna a geoconservação da geodiversidade funcional menos exposta a degradação.

Por fim, a macrozona rural corresponde às áreas rurais do município, e são caracterizadas por sua vocação para o desenvolvimento de atividades agrícolas. Nestas zonas não é permitida a expansão urbana e parcelamento do solo em dimensões menores que 20.000 m<sup>2</sup> (PMSC, 2016).

Assim, conclui-se que para a área de estudo o Plano Diretor Estratégico, apesar de não contemplar a geodiversidade e a geoconservação, possui diretrizes que são importantes para que as unidades de geodiversidade funcional e/ou unidades aquíferas sejam conservadas, realizando o controle e propondo o ordenamento territorial de forma conexa com as necessidades do meio biótico e abiótico.

#### *5.4 Avaliação da Proposta Teórico-Metodológica*

A aplicação da proposta teórico-metodológica deste estudo mostra que é possível realizar a abordagem da análise da paisagem integrada com os aspectos da geoconservação e geodiversidade, resgatando a vertente da sustentabilidade, a qual esteve por um longo período às margens dos estudos direcionadas aos elementos notórios do meio físico.

O desenvolvimento da estrutura do método apesar de audaciosa, pode-se julgá-la simplificada, posto que o intuito é que o método possa ser aplicado, replicado e atualizado sempre que necessário, podendo ser útil para a gestão pública, a qual pode utilizar os resultados obtidos para planejar de forma mais segura as intervenções no geossistema, considerando que os avanços urbanos e rurais impactam os serviços geossistêmicos, principalmente a geodiversidade funcional, colocando em risco a provisão de qualidade dos recursos subterrâneos.

Em termos das dificuldades enfrentadas no estudo, é preciso citar a falta de referências bibliográficas para a temática abordada, o que acarretou no surgimento de duas questões importantes de serem pontuadas. A primeira é que a área de pesquisa mostra-se aberta para propostas de métodos e aplicações, sendo promissora e com um leque muito grande a ser explorado e pesquisado; a segunda questão é a insegura que propostas similares causam, posto que muitos acadêmicos não estão habituados a construir de forma crítica novos parâmetros e diretrizes a serem seguidas, mantendo-se dentro das propostas conservadoras de pesquisar os elementos notórios da paisagem.

Após o desenvolvimento e aplicação do método, foi possível observar que a geodiversidade funcional, pode ser também integrada com parâmetros hidrogeológicos, explorando com mais detalhes a integração das unidades aquíferas, o potencial de transmitir e armazenar as águas subterrâneas, além de proporcionar a elaboração de cálculos de recarga e demanda com base nos usos e ocupações do solo, permitindo assim que as ações de geoconservação possam contar com dados quantitativos diretos, tornando a divulgação mais impactante e com dados com menor grau de subjetividade, saindo do âmbito apenas da análise da paisagem, tornando-a gradativamente multidisciplinar.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A metodologia proposta por esse estudo mostrou-se adequada para a representação e caracterização dos diferentes níveis de fragilidade da geodiversidade funcional, que motiva novas pesquisas que possam aprimorar testar e replicar o método, expondo academicamente a necessidade de estudos que contemplem a gestão sustentável da geodiversidade, a qual é tão importante quanto os exemplares notórios da mesma e são corriqueiramente mais utilizados e explorados, tornando a crise hídrica gradativamente mais evidente e próxima de municípios que em outrora possuíam vasta disponibilidade de água, principalmente proveniente de aquíferos.

Ademais, é importante salientar que a geoconservação inclui todos os componentes relacionados ao geossistema, contribuindo para a provisão dos serviços geossistêmicos e ecossistêmicos, postos que estes ambientes são integrados. Conseqüentemente, a análise das diretrizes propostas por instrumentos de planejamento e gestão territorial são essenciais frente a Geoconservação, pois a medida em que os avanços urbanos e rurais alteram a estrutura natural do meio físico com suas vulnerabilidades intrínsecas, a recarga dos aquíferos torna-se comprometida, tanto em qualidade, quanto em quantidade.

Partir da análise integrada da paisagem e tratar da geodiversidade em seu sentido amplo de sustentabilidade mostrou que este tema de pesquisa é bastante recente, com poucas referências bibliográficas disponíveis e que ainda há um longo caminho a ser percorrido até que outros métodos possam ser elaborados.

Em suma, pretende-se que este estudo seja divulgado e que ele possa contribuir para que outras pesquisas também possam sair do âmbito restritivo da geodiversidade e adentrar no seguimento da gestão e análise ambiental, para que as atuais e futuras gerações tenham água em quantidade e de qualidade.

## REFERÊNCIAS

---

ADGER, W.N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, v.16, n.3, p.268-281, 2006.

AGUIAR, R.L. Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana de São Carlos: contribuição ao Planejamento. **Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP**. São Carlos/SP, 1989.

BAYNE, B.; BRICE, A.; PASQUALE, A.; WHEELER, M. **Drainage network and basin analysis Southern Californian** (2005). Disponível em: [http://www.umass.edu/researchnext/tei/ogi a/pilgrim/basins/main.htm](http://www.umass.edu/researchnext/tei/ogi%20a/pilgrim/basins/main.htm). Acesso em: Novembro/2017.

BERTRAND, G. La Science du Paysage, une science diagonale. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, p. 127 – 133. Tome 18, 1972.

BIASI, M. de. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n°. 6, p. 45 – 61. São Paulo, 1977.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937**. Institui a organização e proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. Brasília, 1937. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/De10025.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/De10025.htm). Acesso: Julho/2017.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc>. Acesso: Julho/2017.

BRASIL. **Lei nº 9.433 - Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acesso: Julho/2017.

BRILHA, J.B.R. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Editora Palimage. [S.l.]. 190p. 2005.

BORGHETTI, N.R.B.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba-PR. 214p. 2004.



BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information Systems for land resources assessment**. Clarendon Press. 193p. Oxford, 1987.

CAMPOS, C.; ARAÚJO, A.A.; BARROS, Z.X.; CARDOSO, L.G.; PIROLI, E.L. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP. **Revista de Engenharia Agrícola**. V.24, nº2, p431-435. 2004.

CARNEIRO, C. D. R. Viagem virtual ao Aquífero Guarani em Botucatu (SP): Formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná. **Revista: Terrae Didática**. Vol. 3, nº1. 50-73p. 2007.

CENDRERO, A. Mapping and evaluation of costal areas for planning. **Ocean & Shoreline Management**. Amsterdam, v. 12, p. 427-462. 1989.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas: São Carlos**. Campinas-SP, 2015. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoes/climamuni549.html>. Acesso: Março/2016.

CIRILO, J.A. Crise hídrica: desafios e superação. **Revista USP**. Nº 106. 45-58p. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110102/108685>. Acesso: Dezembro/2017.

DAEE. **Departamento de Águas e Energia Elétrica**. Outorga: Pesquisa de Dados de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – São Carlos/SP. São Paulo, 2015. disponível em: <http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>. Acesso: Agosto/2015.

DANTAS, M.E; ARMESTO, R.C.G; SILVA, C.R; SHINZATO, E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórica-metodológica. **Terrae Didática**. 11-1, 2015.

DRUMMOND, J.A; FRANCO, J.L.A; OLIVEIRA, D. Uma análise sobre a história e a situação das Unidades de Conservação no Brasil. **Memória e Análise de Leis – Conservação da Biodiversidade Legislação e Políticas Públicas**. 2010.

FRAGA, R.G.de.A. Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil). **Tese de Doutorado em Ciências e Especialidade em Geologia**. 317f. Universidade do Minho, Portugal, 2010.

FEITOSA, F.A.C.; FILHO-MANOEL, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3º Edição: CPRM, 812p. Rio de Janeiro, 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea. Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Banco Mundial, Washington, D.C. 2006.

GONÇALVES, A.R.L. Geologia ambiental da área de São Carlos. **Tese (Doutorado em Geociências).** Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

GOMES, M.A.F. **Uso agrícola das áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental.** Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. 417p. 2008.

GOMES, W; DANTAS-FERREIRA, M. Áreas degradadas na microbacia do Córrego da Água Quente, São Carlos-SP. **IX Simpósio Nacional de Geomorfologia.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/10/10-469-617.html>. Acesso: Agosto/2016.

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature.** Chichester: John Wiley and Sons, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: São Carlos-SP. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso: Janeiro/2018.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Parque Nacional do Itatiaia.** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/>. Acesso: Julho/2017.

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. **Cartas Topográficas.** Escala 1:10.000. São Paulo, 1978.

IRITANI, M.A; EZAKI, S. **Roteiro Orientativo para delimitação de área de proteção de poço.** Instituto Geológico. 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução José Carlos Neves Epiphânio, 598p. São José dos Campos, SP, 2009.

LOLLO, J. A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula Campinas. **Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.** São Carlos, 1995.

LLOYD, J.W. Hydrogeology and beer. **Proceedings of the Geologists' Association**, 97, 213–219. 1986.

MALTMAN, A. **Wine, beer and whisky: the role of geology**. **Geology Today**, 19(1), 22–29. 2003.

MARTINS, R.L.; VERDUM, R. Compartimentos ambientais em formações superficiais quaternárias: análise e mapeamento na bacia hidrográfica do Arroio Pirta (Rio Grande do Sul) (2005). Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n1/24890.pdf>. Acesso: Janeiro/2018.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T.de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. 276p. Brasília, 2012.

MONOSSO, F.C. Estudo integrado da paisagem nas regiões norte, oeste e centro-sul do Estado do Paraná: relações entre a estrutura geocológica e a organização do espaço. **Boletim de Geografia**. V. 26/27, nº1, 81-94p. Maringá 2009.

MUÑOZ, E. Georrecursos culturales. **Geologia ambiental**, 85-100p. Madrid, 1988.

MURO, M.D. Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos-SP – Escala 1:50.000. **Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP**. São Carlos, 2000.

NASCIMENTO, M.A.L.; RUCHKYS, U.A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico**. Sociedade Brasileira de Geologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 84p. 2008.

NASCIMENTO, P.S.R; GARCIA, G.J. Compartimentação fisiográfica para análise ambiental do potencial erosivo a partir das propriedades da rede de drenagem. **Revista de Engenharia Agrícola**. v 25, nº1 231-241p. 2005.

NIETO, L. M. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. **Bol. Geol. Y Min.**, vol. 112, n. 2, p. 3- 12, 2001.

PELLETIER, J.D. **Experiments in the rain fall erosion facility** (2005). Disponível em: <https://geomorphology.geo.arizona.edu/ref/ref.html>. Acesso: Outubro/2017.

PEREIRA, L.S.; FARIAS, T da. S. Os valores e ameaças à geodiversidade: um olhar sobre João Pessoa-PB e litoral sul do Estado. **Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**. 141-166p, V.12, n.17. 2016.

PMSC. Prefeitura Municipal de São Carlos-SP. **Plano Diretor Estratégico**. São Carlos, 2016. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/>. Acesso: Janeiro/2018.

PONÇANO, W. L. et. al. **Mapa Geomorfológico Preliminar do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1979. Escala 1:500.000.

PONS, N.A.D. Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com o auxílio de geoprocessamento. **Tese de doutorado em Geotecnia** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 233f. 2006.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. **EDUFU**. V, 5, 109p. Uberlândia, 2003.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo. Editora: Contexto. 85p. 1991.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista USP**, 1994. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>. Acesso: julho/2016.

ROSS, J.L.S. Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Geografia**, Rio Claro, v. 9, n.1, p.65-75, 1995.

ROSS, J.L.S; PRETTE, M.E.D. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, nº12, 89-121p. 1998.

SALVAN, H. Un problème d'actualité: la sauvegarde du patrimoine géologique. Quelques réflexions. **In :Symposiu, international sur la protection du patrimoine geologique, Digne les Bains**. Mémoire [s.n], n.165, p. 229-230. 1994.

SCOPUS. **Geodiversidade e geoconservação**. Disponível em: <https://www.scopus.com/freelookup/form/author.uri>. Acesso: julho/2017.

SHARPLES, C. **Geoconservation in forest management - principles and procedures; Tasforests, Forestry Tasmania**. Hobart, Vol. 7, pp. 37 – 50. 1995.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservacion**. [S.l.: s.n.] 2002. Disponível em: <http://www.parks.tas.gov.au/geo/conprin/defne.html>. Acesso em: abril/2016.

SERRANO, E.; RUIZ-FLANÓ, P. Geodiversity: A theoretical and applied concept. **Geog. Helv.**, n.62, p.140-147, 2007.

SILVA, C.R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro, Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 264p. 2008.

SILVA, G.C.; MENEZES, D.B. Caracterização da produtividade das unidades aquíferas da área urbana e periurbana de São Carlos-SP. **Anais. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Campinas, 2016.

SOARES, J. J.; SILVA, D. W.; LIMA, M. I. S. (2003). Current State and projection of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo State, Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 63, n. 3.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v. 16, n. 32, p. 71–104, 1976.

STANLEY, M. Geodiversity. **Earth Heritage [S.I.]**. Volume 14, 15-18p. 2000.

THEODOROVICZ, A., THEODOROVICZ, A. M. G., CANTARINO, S.C. **Projeto Curitiba – Informações Básicas sobre o meio Físico: subsídios para o planejamento territorial – Folha Curitiba 1: 100.000**. p. 109. Curitiba, 1994.

TINÓS, T.M. Mapeamento geológico-geotécnico a partir de metodologia de análise integrada: ensaio de aplicação no município de Poços de Caldas-MG. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas**. 139f. Rio Claro, 2011.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, **Rec. Nat. e Meio Amb**. 91p. 1977.

VEDOVELLO, R. Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana. **Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** São José dos Campos, 1993.

VEDOVELLO R; MATTOS, J. T.de. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas. Uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. **Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica.** Florianópolis, 1998.

VEIGA, A.T.C. A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. **Terra das Águas - UnB**, 1: 88-102, 1999.

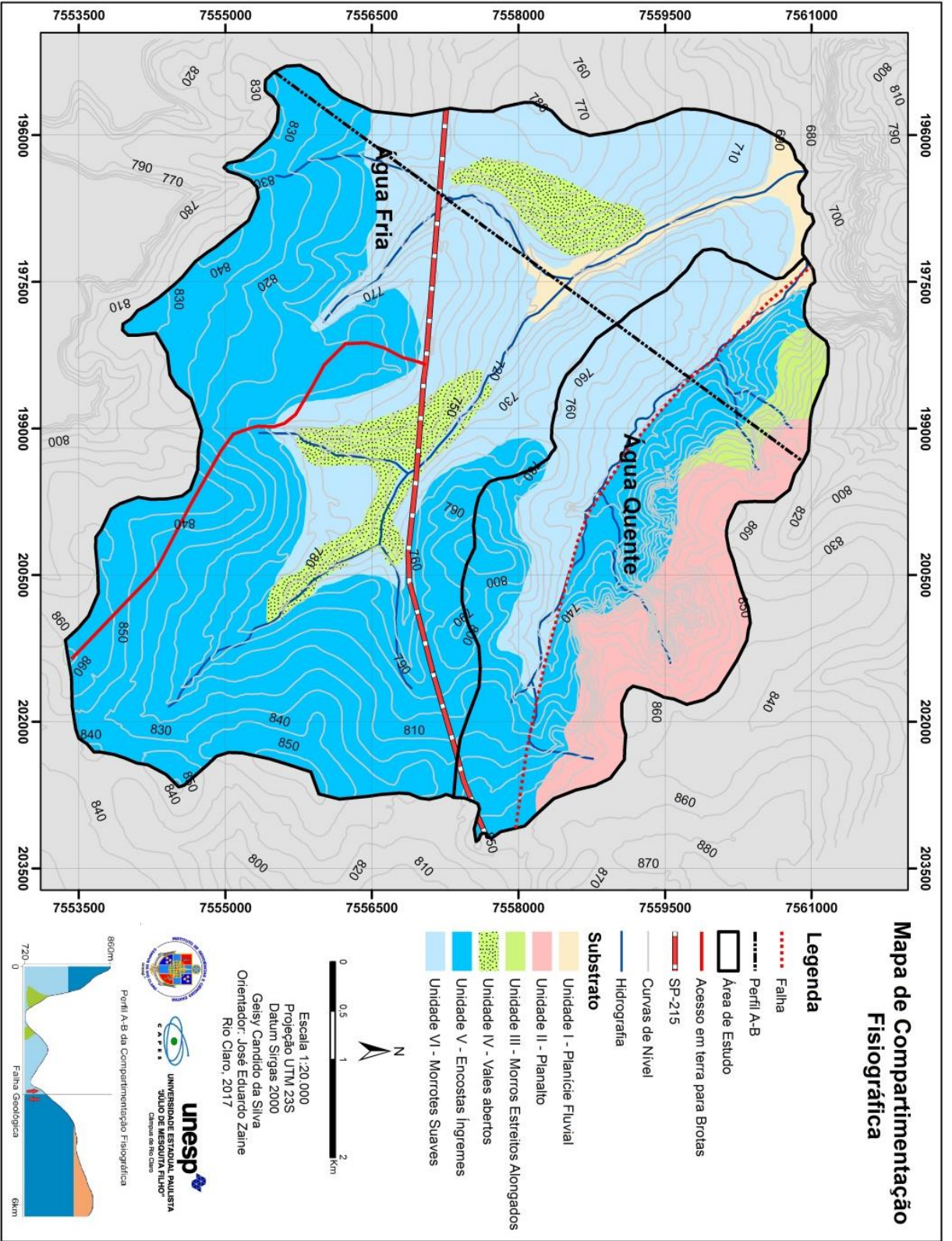
ZAINE, J.E.; PERINOTTO.; ETCHEBEHERE, M.L.; ROVERI, C.; MENEGAZZO, M.C.; MORALES, N. **Mapa geológico da Folha São Carlos do Pinhal (SF-23-Y-A-II), na escala 1:100.000.** In: Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba-PR, 2008.

ZAINE, J.E. Método de fotogeologia aplicado a estudos geológicos-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas-MG. **Tese de livre docência - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.** 97f. Rio Claro, 2011.

ZUQUETTE, L. V. Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta metodológica para as Condições Brasileiras. **Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos.** Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987

ZUQUETTE, L.V; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica.** Oficina de Textos. 190p. São Paulo, 2004.

**APÊNDICE I – MAPA DE COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA**





**APÊNDICE II – MAPA ÍNDICE DA GEOCONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE  
FUNCIONAL, SUB-BACIAS ÁGUA QUENTE E ÁGUA FRIA, SÃO CARLOS-SP**

