

Análise do Zoneamento do Plano Diretor e sua Relação com a Fragilidade Ambiental do Município de São Carlos – SP

Analysis of Zoning of the Master Plan and its Relation with Structural Landscape Components of the Municipality of São Carlos – SP

Paula Regina Rissi¹ , Letícia Candido de Assis¹ , Mayara Herrmann Ruggiero² 
& Luiz Eduardo Moschini¹ 

¹Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, São Carlos, SP, Brasil

²Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos, SP, Brasil

E-mails: paulareginarissi6662@gmail.com; assis.letici@gmail.com; mayara.hruggiero@gmail.com; lemoschini@ufscar.br

Resumo

Devido a processos urbanísticos e ao crescimento populacional, a expansão urbana é um processo recorrente, com isso se faz necessário um adequado planejamento para que não ocorram prejuízos ambientais. O trabalho em questão tem como objetivo determinar se a expansão do município de São Carlos - SP está se dando de forma adequada. Por isso foi estimada a fragilidade ambiental considerando pedologia, geologia, pluviosidade, declividade e o uso e ocupação de todo município e a mesma foi comparada com as áreas de expansão previstas no plano diretor. Os dados foram analisados através do software ArcGIS 10.5, projetados em UTM- Zona 23S, SIRGAS2000. De forma geral, o município apresentou graus de fragilidades “Muito Fraca” ou “Fraca” em cerca de 75% de sua área e as zonas estão de acordo com os resultados obtidos, o é positivo. Por fim, o estudo pode fornecer base para trabalhos que visem propor formas mais sustentáveis de utilização do solo, principalmente em zonas ambientalmente importantes ou com níveis maiores de fragilidade.

Palavras-chave: Planejamento Ambiental; Geoprocessamento; Lógica Fuzzy

Abstract

Due to urban processes and population growth, urban expansions are recurrent processes, with which proper planning is necessary so that environmental damages do not occur. The work in question aims to determine if the development of the municipality of São Carlos - SP is taking place adequately, for this the environmental fragility was determined considering pedology, geology, rainfall, declivity and the use and occupation of every municipality and the was compared to the master plan. Data were analyzed using ArcGIS 10.5 software, designed on SIRGAS 2000, UTM Zone 23S. In general, the municipality showed very weak or weak degrees of fragility in about 75% of its area and the zones are in agreement with the obtained results. Finally, the study may provide a basis for work aimed at proposing more sustainable forms of land use, especially in environmentally important areas or with greater levels of fragility.

Keywords: Environmental Planning; Geomatics; Fuzzy Logic

1 Introdução

As ações antrópicas impactam diretamente na conservação e disponibilidade dos recursos naturais, principalmente devido à grande exploração destes. Qualquer ação que possa implicar em prejuízo para o meio ambiente deve ser previamente planejada e devidamente analisada, sendo de extrema importância o entendimento dos elementos da paisagem de forma integrada, a partir de um diagnóstico completo da área de atuação (Cereda-Junior, 2011). Diante deste cenário é importante que se usem técnicas que possam contribuir com a tomada de decisões no sentido de embasar aquilo que está sendo determinado, de forma que os impactos ambientais sejam identificados e mensurados, proporcionando o planejamento de ações para que seus efeitos negativos nos recursos naturais sejam diminuídos. A análise da paisagem é um ótimo exemplo disso, pois pode proporcionar uma visão sobre o contexto ambiental de cada lugar (Trevisan & Moschini, 2016). Assim, quando o planejamento territorial é realizado de forma a identificar e integrar todos os aspectos e atributos de uma região, as interferências antrópicas, como a expansão urbana, podem ocorrer ocasionando um menor prejuízo ambiental.

De acordo com o Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), a função social de uma propriedade urbana é cumprida quando esta atende às exigências de ordenação da cidade, expressas no Plano Diretor, de forma a assegurar o atendimento das necessidades dos cidadãos relacionadas à qualidade de vida. A Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988), expressa em seu Artigo nº 225, a importância do meio ambiente ecologicamente equilibrado para a manutenção da sadia qualidade de vida, salientando a necessidade da sua conservação e preservação para as futuras gerações. Nesse sentido, ao considerar o desenvolvimento urbano de um município, a integração e o estudo das características dos meios físico e biológico para o adequado planejamento de sua expansão é de extrema importância, bem como o desenvolvimento e a aplicação de ferramentas para este propósito.

A fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente, é uma forma de identificar os locais mais suscetíveis a alterações, principalmente relacionadas com os processos erosivos (Almeida *et al.*, 2016). O estudo da fragilidade da paisagem pode auxiliar na identificação de áreas adequadas para o desenvolvimento de atividades antrópicas e para o conhecimento de regiões com prioridade para a conservação. Sendo assim, aplicar metodologias de análise de fragilidade é essencial para a tomada de decisões, principalmente aquelas relacionadas ao planejamento da expansão urbana (Costa *et al.*, 2015; Guerreiro *et al.*, 2018).

O processo de expansão urbana pode ser acarretado pelo crescimento demográfico ou territorial, podendo ser

vertical ou horizontal. De modo vertical, a cidade cresce por edificações, o que possibilita maior intensificação do uso do solo. Na área central, a expansão vertical pode aumentar as atividades do setor terciário (Corrêa, 1995), já em áreas periféricas está voltado para aumento de habitações. Este tipo de expansão ocorre geralmente quando não há espaço de terras disponíveis para a ocupação.

As modificações da paisagem geradas pela expansão urbana causam desqualificação no meio físico, impactando na qualidade ambiental de uma determinada região, sendo que nos espaços urbanos a concentração de pessoas eleva o consumo de recursos e, conseqüentemente a concentração de poluentes na água, no ar e solo (Londe & Mendes, 2014). Da mesma forma, esta expansão desordenada pode resultar em ocupações de áreas de risco de deslizamento e enchentes (Peluso & Cidade, 2014). Essas implicações podem ser evitadas se o Plano Diretor do município evidenciar as diretrizes corretas e sua aplicação na gestão do território, ou seja, é fundamental a dinâmica entre políticas públicas e o ambiente em que são aplicadas (Honda *et al.*, 2015). Neste sentido, para que as diretrizes das políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial sejam definidas de forma a identificar as áreas mais adequadas para cada tipo de atividade, é necessária a integração de estudos voltados ao diagnóstico de fragilidades do território com as necessidades de expansão do município.

Com isso, o presente trabalho objetivou realizar uma análise da fragilidade ambiental para o município de São Carlos – SP e compará-la com o zoneamento proposto no Plano Diretor Municipal (Lei nº 18053 de 2016), verificando se as especificações definidas neste dispositivo legal estão em conformidade com a fragilidade encontrada.

De forma geral, nota-se que o município tem um potencial muito grande para agricultura, como mostrado por Trevisan *et al.* (2018). Os autores também apontam que as áreas de maior vulnerabilidade ambiental estão associadas às práticas agrícolas, principalmente devido ao solo exposto e supressão da vegetação natural. Além disso, o desenvolvimento de novas ocupações em determinadas regiões do município pode ocasionar o aumento da fragilidade, visto que o uso e ocupação do solo influencia diretamente neste aspecto (Cereda-Junior, 2011). Frente a esses problemas, São Carlos conta com um Plano Diretor que define os tipos de usos que devem ocorrer nas zonas do município, considerando suas características ambientais e usos já consolidados, porém, os interesses relacionados ao zoneamento de um município vão além da capacidade de suporte do ambiente, podendo ser muito influenciado por especulação imobiliária, por exemplo.

Dessa forma, uma análise atual de fragilidade ambiental colocada em contraposto com o que é proposto pela legislação municipal é de grande interesse, visto a possibilidade de discutir e evidenciar se as decisões tomadas

estão considerando de fato os atributos do meio físico do município.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O município situa-se na região central do estado de São Paulo (Figura 1), estando a 231 km da capital e localizado próximo às principais mesorregiões do estado (Mesorregião de Ribeirão Preto e Araraquara). Está em uma altitude em média de 854 metros, e sua localização em coordenadas geográficas são Latitude: 22° 0' 55" Sul,

Longitude: 47° 53' 28" Oeste. É um município de fácil acesso pelas rodovias Washington Luiz (SP-310) e pelas rodovias: SP-215, SP-225 e SP-318/255, sendo o transporte ferroviário de cargas realizado pela Ferrobán. O município possui uma área de 1.137km² e segundo o Censo (2010) 221.950 habitantes (<http://www.cidadespaulistas.com.br/prt/cnt/mp-princid-549.htm>).

Considerando os recursos hídricos, as suas principais bacias hidrográficas são Bacia do Tietê-Jacaré e Bacia do Mogi-Guaçu. Por meio da identificação dessas bacias seguindo a orientação das redes de drenagem as duas bacias foram subdivididas em dez Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs), descritas na Tabela 1 (Trevisan, 2015).

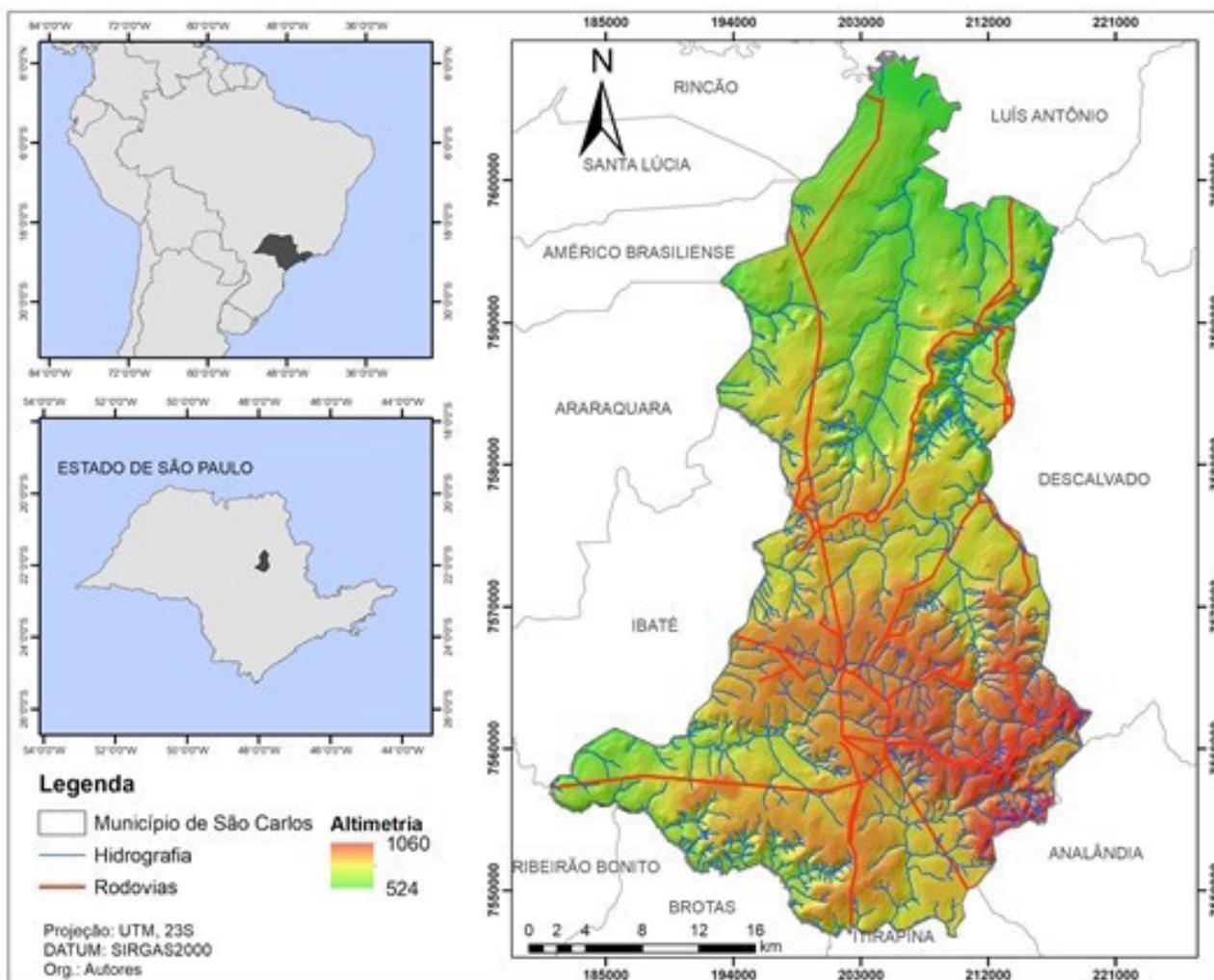


Figura 1 Localização geográfica do município de São Carlos.

Tabela 1 UGRHI de São Carlos.

UGRHI	Área (ha)	Cursos d'água
Sub-bacia Quilombo	30.292,95	Córrego da Cachoeira, Córrego da Jararaca, Córrego do Canchim, Córrego do Engenho, Córrego do Lobo, Ribeirão dos Negros, Rio do Quilombo, Rio Mogi Guaçu
Sub-bacia Monjolinho	20.736,61	Córrego da Água Fria, Córrego da Água Quente, Córrego do Cancã, Córrego do Gregório, Córrego Santa Maria Madalena, Rio Monjolinho, Rio Jacaré Guaçu
Sub-bacia Araras	19.759,68	Córrego do Lobo, Córrego Santo Antônio, Ribeirão da Água Branca, Ribeirão das Araras, Rio Mogi Guaçu
Sub-bacia Feijão	8.068,63	Córrego Santa Maria, Rio Jacaré Guaçu
Sub-bacia Cabaceiras	6.606,50	Córrego Santa Rosa, Córrego José Ribeiro, Ribeirão das Cabaceiras, Córrego do Salvador Martins, Córrego Santa Cândida, Córrego Boa Vista
Sub-bacia Guabiobas	6.217,20	Ribeirão das Gabirobas, Rio Mogi Guaçu
Sub-bacia Mogi Guaçu	4.551,46	Rio Mogi Guaçu
Sub-bacia Chibarro	3.549,30	Córrego da Aparecida, Córrego do Galdino, Rio Chibarro
Sub-bacia Pântano	1.696,82	Córrego da Fazenda Montes Claros

Fonte: Adaptado de Trevisan (2015).

2.2 Materiais e Métodos

Para a realização do trabalho em questão, foram utilizadas as seguintes cartas temáticas: uso e ocupação do solo para o ano de 2018, pedologia, declividade e geologia, conforme indicado na Tabela 2. O uso e ocupação do solo foi elaborado a partir de imagem multiespectral dos sensores Planet, o qual configura uma resolução espacial de 3.7m, abrangendo os espectros vermelho, verde, azul (RGB) e infravermelho próximo (NIR), com uma resolução radiométrica de 12 bits e frequência diária de revisita (Planet Labs, 2020 - <https://www.planet.com/products/monitoring/>). Todos os dados foram georreferenciados em SIRGAS 2000, UTM Zona 23S e trabalhados no Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o software ArcGIS 10.5. O SIG permite a manipulação e análise de dados geográficos, ou seja, informações com coordenadas geográficas associadas, possibilitando a elaboração de mapas temáticos que contribuem para a melhor visualização destas informações.

A fragilidade ambiental foi determinada segundo a metodologia proposta por Ross (1994), conforme o fluxograma apresentado na Figura 2, em que os dados geográficos de cada carta são classificadas e divididas em cinco categorias de fragilidade: muito fraca, fraca, média, alta e muito alta; com pesos de 1 a 5 respectivamente.

Para classificar os atributos foram consultados os trabalhos de Ross (1994, 2012), Costa *et al.* (2015), Trevisan & Moschini (2016) e informações de especialistas na área de geoprocessamento, gestão ambiental e geografia.

Após a classificação inicial de cada um dos atributos, foi aplicada a lógica Fuzzy, que se difere das demais por não considerar valores absolutos, 0 ou 1; mas sim variações graduais, que vão de 0 a 1. Tal lógica se mostra útil pois permite a representação de elementos parciais, algo que está entre dois extremos, assim, as variações do ambiente podem ser mensuradas e classificadas de forma mais adequada, considerando suas gradações (Chenci *et al.*, 2011). A aplicação da lógica Fuzzy gerou arquivos matriciais reclassificados, com seus valores variando de 0 a 1, em que 0 indica uma fragilidade mais baixa e 1 fragilidades mais elevadas. Finalmente, foi realizada a soma de todos os atributos reclassificados pela lógica Fuzzy por meio de Álgebra de Mapas, utilizando a ferramenta soma ponderada do software ArcGis 10.5. Ao finalizar o processo de soma, o resultado passou novamente pela lógica Fuzzy, com o intuito de retornar os valores finais padronizados de 0 a 1 e, portanto, permitir a identificação das regiões com maior ou menor fragilidades.

Tabela 2 Atributos ambientais utilizados para as análises. Adaptado de Costa *et al.* (2015).

Carta	Fonte	Escala
Uso e Ocupação do Solo (2018)	Imagem do satélite Planet	-
Pedologia	Instituto Agrônômico (1981)	Escala de projeção 1:100000. Escala de produção 1:50000
Declividade	Cartas hipsométricas IBGE	1:50000
Geologia	Coordenadoria de Planejamento Ambiental	1:50000
Pluviosidade	Cemaden	-

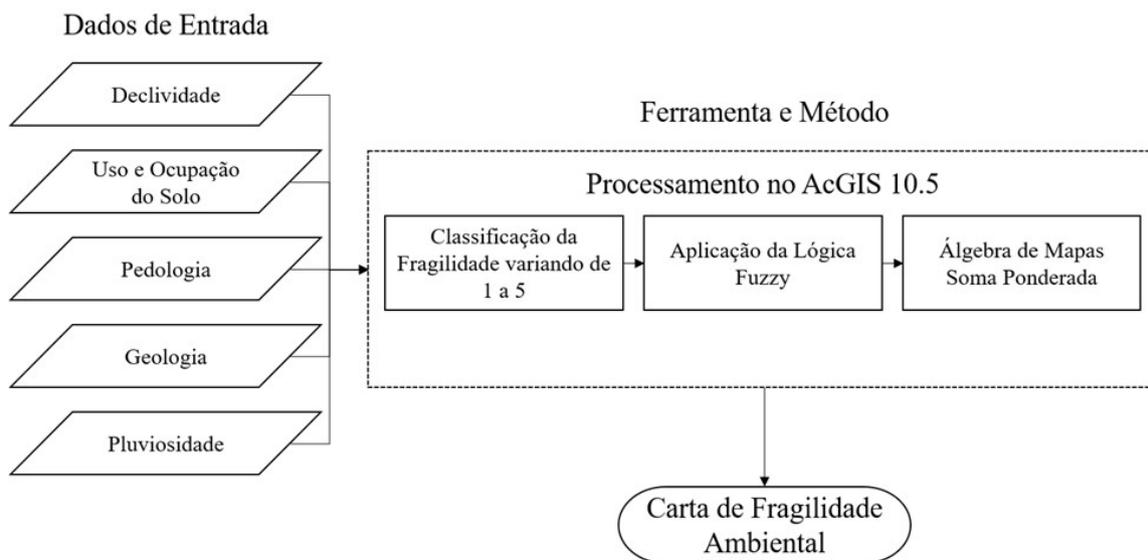


Figura 2 Fluxograma do método utilizado para a análise de fragilidade ambiental.

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2015).

Em relação à declividade (Tabela 3) os níveis de fragilidade foram atribuídos de acordo com a porcentagem de inclinação, quanto maior a inclinação, mais frágil; isso se dá porque lugares inclinados estão mais sujeitos aos processos erosivos e aos deslocamentos de massa. A classificação das porcentagens de declividade foi estipulada de acordo com Ross (1994, 2012), mesma classificação aplicada por Costa et al. (2015). Esta classificação foi definida por Ross (1994) de acordo com os limites críticos da geotecnia, que indicam o vigor de processos erosivos, riscos de escorregamentos e possibilidade de enchentes frequentes.

As áreas com vegetações naturais, como as Áreas de Proteção Permanente (APP) e as remanescentes, apresentam fragilidade muito fracas por protegerem o solo (Tabela 4). As áreas de silvicultura também conferem certa proteção ao solo, mas há o manejo que pode degradá-lo.

As regiões com pastagens, agricultoras perenes e citriculturas deixam o solo relativamente exposto e há manejos constantes, portanto, configuram fragilidade média. Já aos locais com plantações de cana de açúcar, avicultura e estruturas de urbanização foi atribuída forte fragilidade, pois são áreas com constante e intenso manejo. As áreas com solo totalmente exposto, rodovias e o aterro sanitário são os com a maior fragilidade, pois estão completamente desprotegidas.

Os graus de fragilidade para as composições pedológicas (Tabela 5) e para as formações geológicas (Tabela 6) foram atribuídos de acordo com suas composições, quanto mais arenoso, maior o grau de fragilidade, pois mais sujeito à erosão. Os mapas elaborados para a gerar o mapa final de fragilidade estão ilustrados na Figura 3.

Tabela 3 Pesos atribuídos à declividade.

Fragilidade	Declividade (%)	Fuzzy
1- Muito Fraco	Até 6	0,0 - 0,2
2- Fraco	De 6 a 12	0,2 - 0,4
3- Médio	De 12 a 20	0,4 - 0,6
4- Forte	De 20 a 30	0,6 - 0,8
5- Muito forte	Acima de 30	0,8 - 1,0

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012) e Costa et al. (2015).

Tabela 4 Pesos atribuídos ao uso e ocupação do solo.

Fragilidade	Uso e Ocupação	Fuzzy
1- Muito Fraco	Remanescente e APP, Represa, Rio	0,0 - 0,2
2- Fraco	Silvicultura	0,2 - 0,4
3- Médio	Pastagem, Perene, Citricultura, Café	0,4 - 0,6
4- Forte	Cana de Açúcar, Avicultura, Expansão Urbana, Infraestrutura Rural	0,6 - 0,8
5- Muito forte	Solo Exposto, Aterro Sanitário, Rodovia, Mineração	0,8 - 1,0

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2015).

Tabela 5 Pesos atribuídos à pedologia.

Fragilidade	Pedologia	Fuzzy
1- Muito Fraco	Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Vermelho, Rios	0,0 - 0,2
2- Fraco	-	0,2 - 0,4
3- Médio	Nitossolos	0,4 - 0,6
4- Forte	Argissolos Vermelho-Amarelo	0,6 - 0,8
5- Muito forte	Gleissolos Háplicos; Gleissolos Háplicos; Neossolos	0,8 - 1,0

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2015).

Tabela 6 Pesos atribuídos à geologia.

Fragilidade	Geologia	Fuzzy
1- Muito Fraco	Formação Serra Geral	0,0 - 0,2
2- Fraco	Formação Corumbataí	0,2 - 0,4
3- Médio	Formação Itaqueri;	0,4 - 0,6
4- Forte	Formação Botucatu, Pirambóia	0,6 - 0,8
5- Muito forte	Quaternário, Depósitos Coluvionares	0,8 - 1,0

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2015).

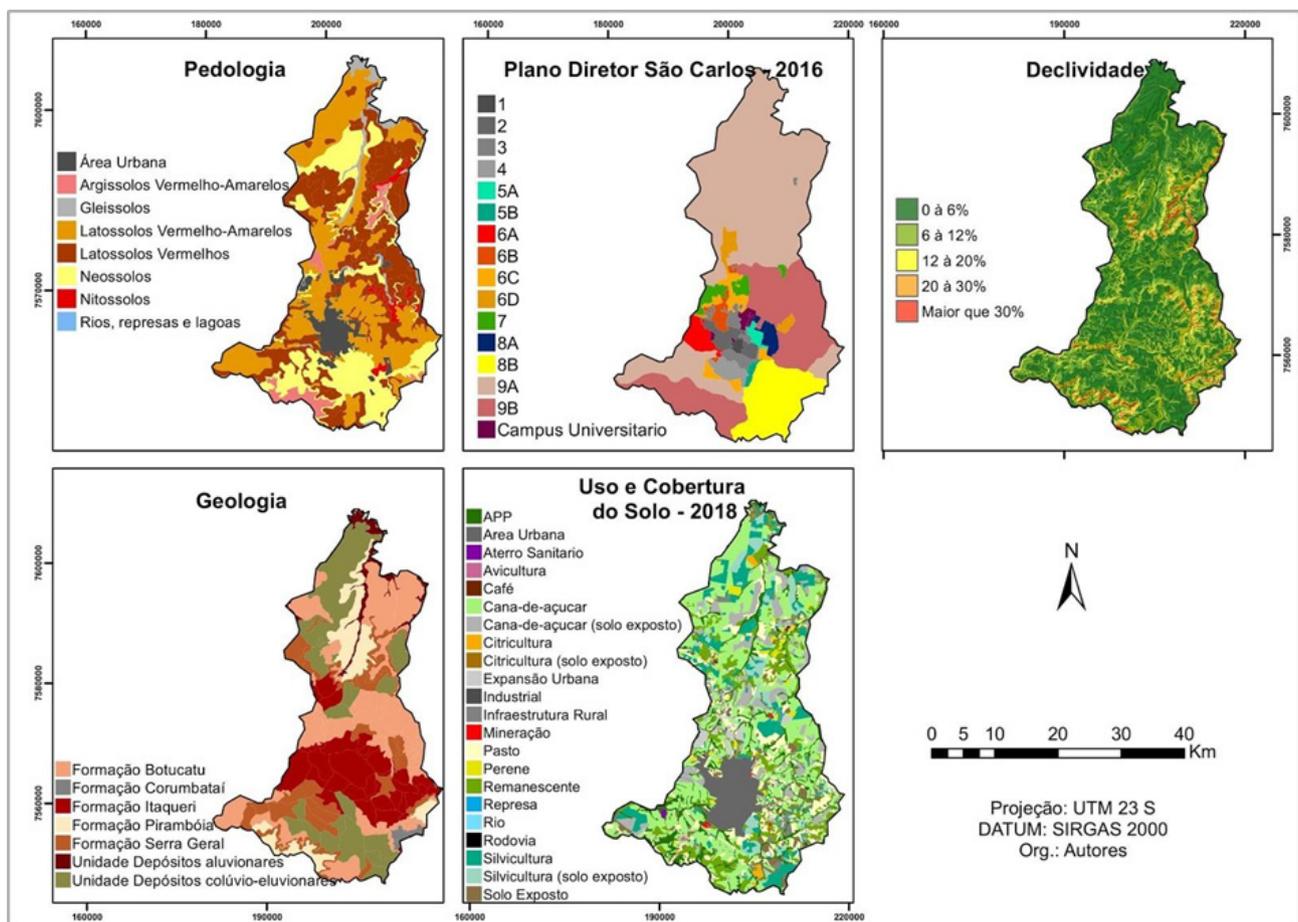


Figura 3 Planos de informações dos atributos do meio físico, biótico e abiótico.

A classificação das formações geológicas foi estipulada de acordo com as características dos materiais que compõem essas formações, analisando se estas podem elevar o potencial de erosão ou contaminação de uma determinada região. Neste sentido, formações compostas por materiais arenosos contribuem com uma maior capacidade

de erodibilidade, juntamente com um maior potencial de infiltração de contaminantes no solo, ao passo que materiais compostos por rochas basálticas ou siltitos não costumam desenvolver processos erosivos.

A geologia da área de estudo é composta em sua maioria pela Formação Botucatu, a qual juntamente com

a Formação Pirambóia elevam a fragilidade da região, justamente por ambas caracterizarem áreas de afloramento de formações aquíferas. A Formação Botucatu é caracterizada por arenitos eólicos com uma granulação fina a média e com uma alta taxa de permeabilidade, levando à formação de solos arenosos e com alto potencial de erosão. A Formação Pirambóia é caracterizada por arenitos finos a médios, com grãos arredondados e níveis de folhelhos e arenitos argilosos (Costa, 2018).

A Formação Itaqueri é caracterizada por arenitos com cimento argiloso, conglomerados de arenitos grosseiros e lentes alongadas de folhelhos. As formações Corumbataí e Serra Geral conferem às regiões uma fragilidade mais baixa devido a presença de rochas como siltitos, argilitos para a primeira e basaltos com intercalação de arenitos intertrapeanos para a segunda (Costa, 2018).

Por fim, as formações quaternárias e depósitos de colúvios conferem uma maior fragilidade para a área devido à presença de solos arenosos com alto potencial de erosão, além disso as formações quaternárias localizam-se nos vales dos principais cursos d'água (Costa, 2018).

A pluviosidade anual de São Carlos para o ano de 2017 foi de 1478 mm, segundo dados disponibilizados pelo CEMADEN (2018), sendo assim, o grau de fragilidade atribuído é o médio.

Além da fragilidade, outro aspecto levado em consideração é o zoneamento proposto pelo plano diretor

de 2016 do município de São Carlos, que estabelece como deve se dar o parcelamento do uso do solo. As zonas foram analisadas quanto a sua fragilidade a fim de que se possa concluir se os usos atuais e os propostos pelo plano diretor são os ideais, especialmente em relação às zonas de expansão urbana.

3 Resultados e Discussão

Um plano diretor tem como finalidade determinar como o território municipal deve ser utilizado em relação a urbanização, atividades rurais e preservação, visando assim uma expansão ordenada e sustentável. As zonas dadas pelo plano diretor de 2016 de São Carlos, bem como suas finalidades, estão descritas na Tabela 7 (São Carlos, 2016).

Analisando o mapa de fragilidade (Figura 4) e o gráfico de porcentagens (Figura 5), nota-se que a maior parte do município apresenta fragilidade Média (48%), seguida de Fraca (30%) e Forte (15%). As fragilidades Muito Fracas e Muito Fortes representam a minoria, totalizando, juntas 7%.

A Figura 6 apresenta a fragilidade sobreposta pelas zonas propostas pelo Plano Diretor do município de São Carlos. As zonas que constituem atualmente a mancha urbana (zona 1, 2, 3, 4, 5A e 5B) não tiveram a fragilidade considerada pois estão consolidadas, já as manchas destinadas a expansão urbana foram categorizadas em maior (6A), média (6B) e menor (6C) densidade de ocupação.

Tabela 7 Zoneamento determinado pelo plano diretor de 2016.

Zonas	Descrição
1	Ocupação Consolidada: é constituída pelo centro da cidade, apesar de ser uma zona altamente ocupada, há diversos lotes vazios.
2	Ocupação Induzida: há alguns lotes vazios e expansões para edificações.
3	Ocupação Condicionada: compreende novos loteamentos e alguns bairros mais tradicionais.
4	Qualificação e Ocupação Controlada: compreende os bairros povoados pela população de baixa renda, há carência na infraestrutura local.
5A	Proteção do manancial do Monjolinho-Espraiado, há urbanização na área, principalmente habitações populares.
5B	Proteção do manancial do Ribeirão do Feijão, há urbanização na área e ela se localiza próximo a indústria.
6A	Regulação e Ocupação Controlada de Maior Densidade: é a área preferencial de urbanização, pois está próxima a mancha urbana e apresenta boas características ambientais.
6B	Regulação e Ocupação Controlada de Média Densidade: também localizada próxima a mancha urbana, mas a ocupação deve se dar com mais cuidado devido às características da hidrologia e presença de vegetação nativa.
6C	Regulação e Ocupação Controlada de Menor Densidade: está nas margens da mancha urbana, mas apresenta características ambientais muito importantes em relação a hidrologia, portanto deve ser feito um plano de ocupação.
6D	Regulação e Ocupação Controlada de Indústrias e Serviços: representa a área destinada às atividades indústrias.
7	Proteção, Regulação e Ocupação Específica: compreende diversas chácaras, portanto é visada como área de expansão, além disso, possuem áreas com vegetação nativa.
8A	Proteção e Ocupação Restrita do Monjolinho-Espraiado: área de recarga e de captação de água.
8B	Zona de Proteção do Manancial do Ribeirão Feijão: também destinada à captação de água.
9A	Zona Multifuncional Rural: áreas rurais, voltadas principalmente à agricultura.
9B	Zona de Uso Multifuncional Agrícola e Proteção Hídrica, uso agrícola, mas voltada a preservação de APPs.

Fonte: Adaptado do Plano Diretor do município de São Carlos-SP, 2016 (São Carlos, 2016).

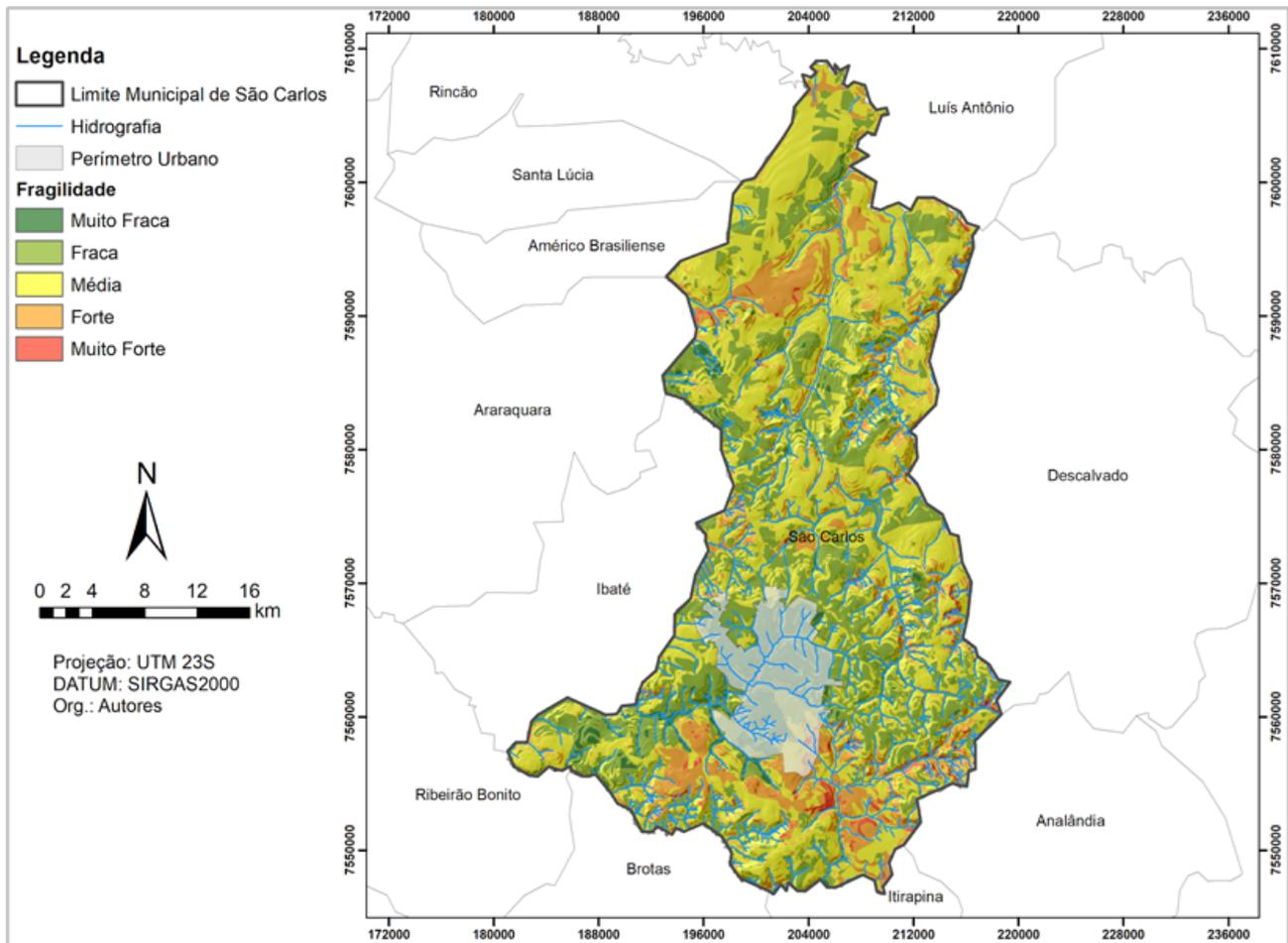


Figura 4 Mapa Fragilidade Ambiental São Carlos.

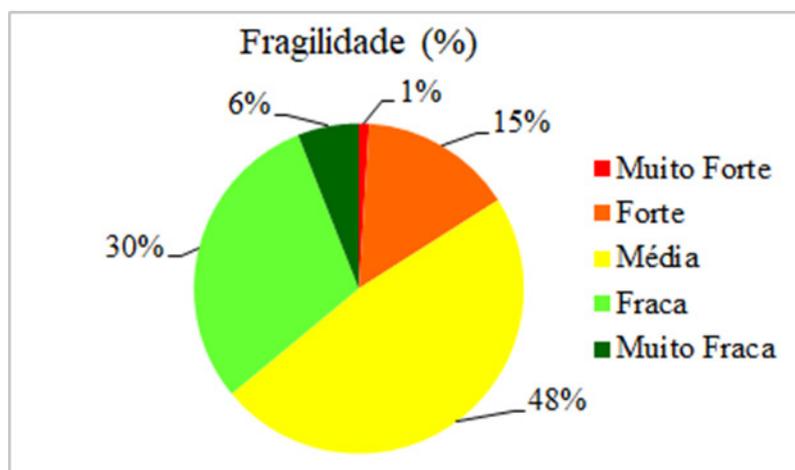


Figura 5 Fragilidade em porcentagem.

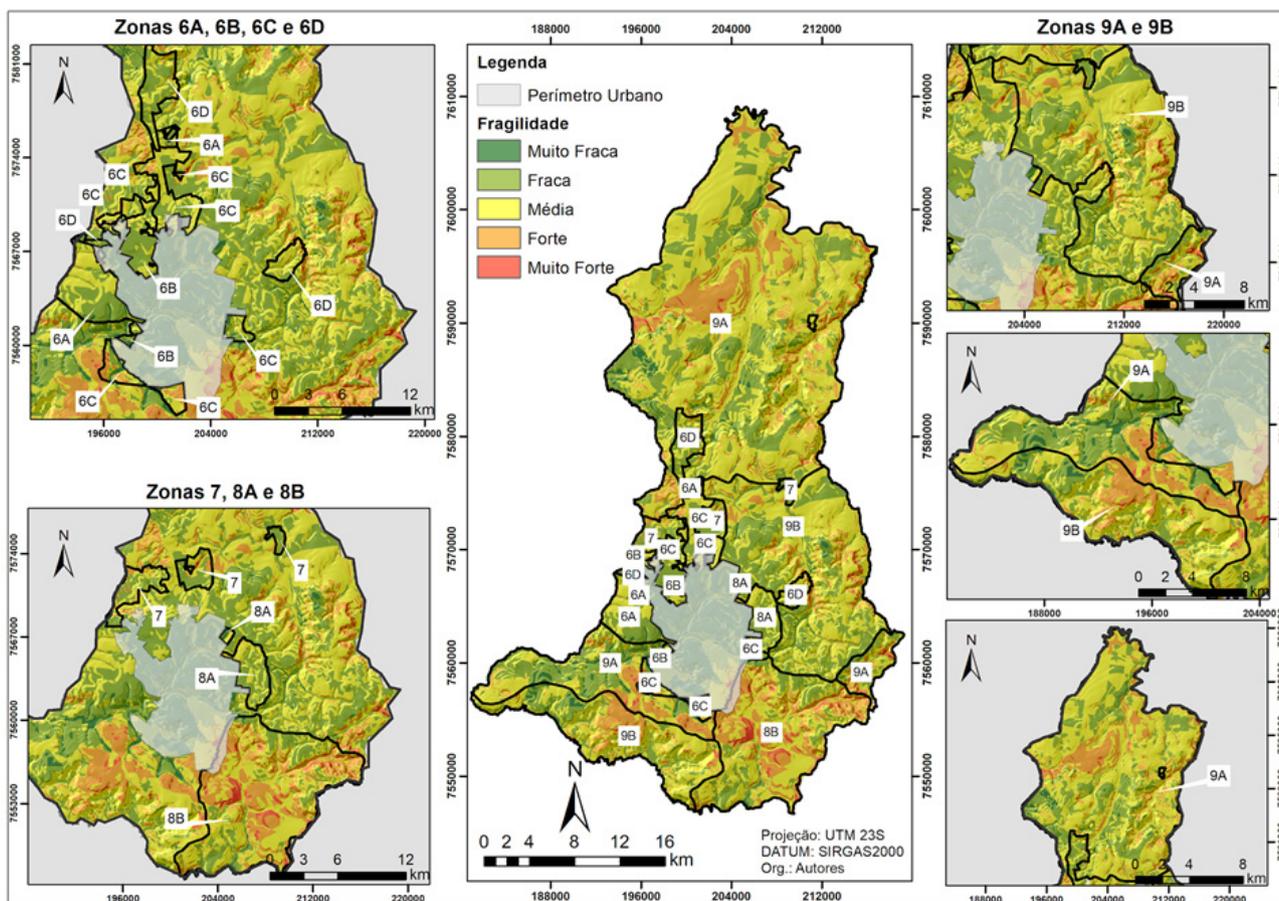


Figura 6 Fragilidade Ambiental sobreposta por zoneamento proposto pelo Plano Diretor (2016).

O uso destas zonas, em sua maioria, é destinado ao plantio de cana-de-açúcar e uso agrícola, apresentando algumas propriedades privadas. A fragilidade destas zonas varia de média a fraca, sendo em sua maioria média, devido a junção das suas características de uso do solo com a predominância de latossolo vermelho, que favorece crescimento radicular pela presença da alta quantidade de poros permitindo movimentação de água e ar; a composição geológica caracterizada pelas formações Itaqueri, principalmente na zona 6A, formada pelo depósitos de sedimentos e arenitos e Botucatu composta por arenitos nas zonas 6B e 6C Ressalta-se que a formação Botucatu identificada nas zonas 6B e 6C constitui uma importante área de recarga de aquífero (Massoli, 2007) sendo mais suscetível à erosão e à percolação de contaminantes.

Da mesma forma, a redução das características de permeabilidade deste material impacta diretamente na quantidade de água que chega no lençol freático. Por fim, existem poucas áreas ocupadas pela formação Serra Geral, composta por rochas basálticas e rochas ácidas,

estas resistentes a agentes do intemperismo, justamente nas regiões de fragilidade fraca (Silva, 2015).

Considerando os efeitos de urbanização nessas áreas, a fragilidade tende a aumentar com o tempo. A zona 6D é destinada a ocupação de indústrias, porém grande parte da área desta área é utilizada para atividades agrícolas, como o plantio de cana-de-açúcar. A fragilidade encontrada foi Fraca e Média, devendo-se atentar a efeitos de contaminação do solo, devido às formações geológicas e o tipo de solo. Nesta região, a declividade encontrada foi entre 0 a 6%, ou seja, é uma região plana, o que reduz a suscetibilidade à erosão.

A zona 7, destinada à proteção e regulação de ocupações específicas, apresentou fragilidade, em sua maioria fraca e média. Isso se deu, principalmente, devido ao uso do solo, que é majoritariamente composto por propriedades privadas como chácaras, apresenta ainda pequenos fragmentos de vegetação em Área de Preservação Permanente e algumas regiões com vegetação remanescente. A composição do solo e a geologia foram os aspectos que

contribuíram para a classificação de algumas regiões com média fragilidade. A área é composta majoritariamente por Neossolo, os quais conferem um peso mais elevado à fragilidade devido a sua baixa coesão sendo suscetíveis a erosão (Shinzato *et al.*, 2010). Estes, aliados à presença dos arenitos da formação Botucatu contribuem para o aumento da fragilidade. As áreas com fragilidade fraca são aquelas em que estão localizados os remanescentes de vegetação nativa.

A zona 8A é destinada à proteção da Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho, devido a área ser um manancial de captação de água para abastecimento público, com um dos principais pontos de captação de água superficial do município. Além disso, tal zona é classificada como de ocupação restrita, devido à proximidade com a mancha urbana. O uso desta zona é voltado a atividades agrícolas como plantio perene, cana-de-açúcar e café, devido a condição pedológica do solo favorecer tais atividades. A declividade é baixa e a maior parte do solo é composto por Latossolo Vermelho-Amarelo semelhante ao Latossolo Vermelho, sendo estes relacionados à formação Itaqueri. Essas características, quando analisadas de forma integrada, atribuem à zona 8A fragilidade fraca e média.

A zona 8B, é destinada a proteção do manancial do Ribeirão do Feijão, corpo hídrico que apresenta extrema importância para o abastecimento de água do município, representando 70% da captação. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão está localizada nos limites do município, apresenta uso variado agrícola, sendo destacada a cana-de-açúcar e a silvicultura. Tais ocupações agrícolas caracterizam-se, também, pela presença de parcelas de solo exposto durante alguns momentos do ciclo produtivo, devido a finalização do plantio e colheita. A maior parte da sua composição pedológica é Neossolo, como ressaltado, solos suscetíveis à erosão, que pode ser intensificada pela presença de valores altos de declividade. As declividades elevadas estão localizadas na porção nordeste da zona 8B, em alguns pontos específicos, além disso, a geologia da região é representada pela Formação Botucatu, e em sua maioria por depósitos Colúvio-Eluviais, onde podem ser desenvolvidos neossolos (Cerminaro & Oliveira, 2015). Devido a todas essas características, a zona 8B apresenta fragilidades em sua maioria média, forte e muito forte; indicando que o planejamento da região deve ser feito com maior cuidado, respeitando tais particularidades.

As áreas de atividades majoritariamente agrícolas, zona 9A destinada ao Uso Funcional Agrícola, apresentou fragilidade média em sua maioria, além de apresentar fragilidade forte em uma pequena área central. A pedologia é composta principalmente por Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo, característica que atribui grau de fragilidade menor, localizada nas áreas em que a fragilidade encontrada foi fraca ou média. As áreas compostas por

Neossolos, apresentaram fragilidade maior. Considerando a composição geológica, a zona engloba as Formações Serra Geral e Itaqueri, com uma pequena porção de Depósitos Colúvios-Eluviais. Nesta zona não é permitida expansão urbana, sendo que o uso do solo atual desta área condiz com o previsto pelo plano diretor, sendo o plantio de cana-de-açúcar a atividade agrícola que aparece em maior escala.

A zona 9B é destinada ao Uso Multifuncional Agrícola e Proteção Hídrica, além disso, esta zona é dividida em duas porções. Devido a classificação do Plano Diretor a zona apresenta quantidade maior de vegetação na Área de Preservação Permanente e Reservas Legais na porção sudoeste, sendo cana-de-açúcar e pastagem as atividades agrícolas de maior intensidade na porção nordeste. Na região nordeste a composição pedológica é majoritariamente formada por Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo, já a maior parte da composição geológica é formada pela Formação Botucatu, seguida por uma porção de formação Itaqueri e uma pequena porção de formação Serra Geral. A declividade desta área da zona varia de 0% a 20%, sendo sua maioria entre 0% e 6%, esses atributos em conjunto conferem a esta área da zona uma fragilidade predominantemente média, ainda apresentando pequenos valores de fragilidade “Forte” em áreas de declividade alta.

Por fim, a parte sudoeste da zona 9B é marcada por declividades mais altas, a composição geológica é composta pela formação Pirambóia, que em conjunto com a formação Botucatu, presente também nesta área, atuam como zonas de recarga de aquífero, devido a sua propriedade arenosas e ao seu afloramento que ocorre na região (Strugale *et al.* 2004). Esta região apresenta Argissolos Vermelho-Amarelos, solos com boa capacidade de drenagem, mas devido a declividade alta da região podem se tornar suscetíveis a erosão. A região também é composta por Neossolos, que também são suscetíveis a erosão (Shinzato *et al.*, 2010). Devido a isso, a zona apresentou em sua maioria fragilidade média e na parte central forte, com pequenos pontos muito forte nas áreas mais declivosas.

4 Considerações Finais

A metodologia utilizada para a elaboração das cartas de fragilidade ambiental apresentou resultados que contribuíram para o desenvolvimento das análises, fomentando discussões a respeito daquilo que é proposto na legislação do município em questão.

Os pontos mais críticos foram encontrados, principalmente, na região sul do município, devido junção de formações geológicas sensíveis, como Formação Pirambóia e Depósitos Colúvio-Eluvionares, a composição pedológica arenosa suscetível a erosão, como os neossolos, que foram intensificadas pelo uso que em sua maioria é agrícola com plantio de cana-de-açúcar e

silvicultura, sendo algumas porções formadas por solo expostos dos mesmos plantios.

As zonas 9A e 9B são destinadas ao uso agrícola, porém a 9B também contempla a área de proteção aos mananciais, portanto, nesta zona em específico deve-se controlar o uso e ocupação. A ocupação do solo voltada ao plantio de cana-de-açúcar somada a características pedológicas sensíveis, confere fragilidade forte a área.

Outra zona de importante destaque é a 8B, local onde foram identificados pontos de fragilidade muito forte e forte. Nesta zona está localizada a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, a qual é responsável por 70% da captação de água do município. Esta região é uma área de proteção e recuperação de mananciais, e por isso, apresenta maiores restrições relacionadas ao uso e ocupação do solo, e uma maior área destinada à recuperação de vegetação, conforme a Lei nº 13.944 de 2006, a qual estabelece as Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais (APREM) do município (São Carlos, 2006). No entanto, observa-se que muitos aspectos definidos na legislação não são respeitados, como os 50 metros de área de preservação permanente para cursos d'água, lagos e represas e 70 metros para nascentes.

Assim, percebe-se que mesmo com um certo respaldo da legislação para as regiões em que foi encontrada uma fragilidade elevada, o cumprimento do que está disposto não acontece, o que corrobora para o aumento da fragilidade, sendo que o tipo de uso e ocupação do solo nessas áreas contribui diretamente para isso.

De forma geral, as áreas de expansão localizam-se em regiões de média a baixa fragilidade, porém ressalta-se que algumas dessas zonas necessitam de cuidados específicos em seu processo de planejamento, como a zona 6C. A elaboração de um plano de ocupação que vise a preservação da qualidade ambiental, principalmente em relação aos recursos hídricos, é essencial.

Ainda sobre as áreas com fragilidades mais altas, como a 8B, seria interessante rever alguns aspectos do uso e ocupação do solo de forma a evitar futuros problemas, como o aumento de pontos de erosão e contaminação de recursos hídricos, visto a importância ambiental e social dessas áreas. Alguns usos, como a presença de solo exposto, podem acabar elevando a fragilidade, diante disso, medidas podem ser tomadas, como por exemplo a destinação de algumas regiões para restauração da vegetação. Como citado, a Bacia do Ribeirão do Feijão é uma APREM e as diretrizes definidas na Lei nº 13.944 devem ser seguidas e instituídas na zona 8B, como por exemplo a revegetação de Áreas de Preservação Permanente e o controle do uso e ocupação do solo. Neste ponto, ressalta-se a necessidade do cumprimento da legislação já existente e da importância de uma fiscalização eficiente, que contribua para o aumento de áreas destinadas à recuperação de vegetação.

5 Agradecimentos

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

6 Referências

- Almeida, R.F.B.; Bayer, M. & Júnior, L.G.F. 2016. Compartimentação Morfométrica da Bacia do Rio Coco como Subsídio à análise de Fragilidade Ambiental. *Mercator*, 15(4): 83-94.
- Brasil. 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292p.
- Brasil. 2001. Lei N. 10.257, de 10 de julho de 2001. *Estatuto da Cidade*. Brasília, DF, julho de 2001.
- Cemaden. 2018. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. Mapa interativo. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso: 21 de Junho de 2018.
- Cereda Junior, A. 2011. Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério-críticas e proposta metodológica. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, Tese de Doutorado, 149p.
- Cominaro, A.C. & Oliveira, D. 2015. Relações Solo-Relevo Através da Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão, nos Municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina no Estado de São Paulo-BR: Ordenações de Unidades para Uso e Ocupação Adequados. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(2): 352-364.
- Chenci, G.P.; Rignel, D.G.S & Lucas, C.A. 2011. Uma Introdução à Lógica Fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, 1(1):17-28.
- Corrêa, R.L. 1995. *O Espaço Urbano*. São Paulo, Editora Ática 3ª edição, 16p.
- Costa, C.W.; Piga, F.G.; Moraes, M.C.P.; Dorici, M.; Sanguinetto, E.C.S.; Lollo, J.A.; Moschini, L.E.; Lorandi, R. & Oliveira, L.J. 2015. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras–Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4): 946-958.
- Costa, C.W. 2018. *Mapeamentos geoambientais, em escala 1:50.000, aplicados em análises de planejamento territorial de manancial periurbano: bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP*. Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Tese de Doutorado, 166p.
- Guerreiro, J.V.R.; Lollo, J.A.; Moschini, L.E. & Lorandi, R. 2018. Carta de Fragilidade Ambiental como instrumento de planejamento e conservação de unidades aquíferas: o caso da bacia do rio Clarinho, SP. *Caderno de Geografia*, 28(53): 385-403.
- Honda, S.C.A.L.; Vieira, M.C.; Albano, M.P. & Maria, Y.R. 2015. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(1): 62-73.

- Instituto Agrônômico. 1981. Levantamento Pedológico Semi-detalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos.
- Londe, P.R. & Mendes, P.C. 2014. A Influência das Áreas Verdes na Qualidade de Vida Urbana. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 10: 264-272.
- Massoli, M. 2007. Caracterização Lito Faciológica das Formações Pirambóia e Botucatu, em subsuperfície, no município de Ribeirão Preto (SP) e sua aplicação na prospecção de águas subterrâneas. Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 188p.
- Peluso, M.L. & Cidade, L.C.F. 2014. Meio ambiente, expansão urbana e desafios territoriais em Brasília. In: III ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, p. 1-11.
- Ross, J.L.S. 1994. Análise Empírica Da Fragilidade Dos Ambientes Naturais Antropizadas. *Revista do Departamento de Geografia*, 8: 63-74.
- Ross, J.L.S. 2012. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. *Revista do Departamento de Geografia*, Volume Especial de 30 anos, 38-51.
- São Carlos. 2006. Lei nº 13.944 de 12 de dezembro de 2006. *Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais e dá outras providências*. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/SP/SAO.CARLOS/LEI-13944-2006-SAO-CARLOS-SP.pdf>>. Acesso em mar 2020.
- São Carlos. 2016. Lei N. 18.053, de 19 de dezembro de 2016. Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos. São Carlos, São Paulo, dezembro de 2016.
- Shinzato, E.; Teixeira, W.G.; Mendes, A.M. 2010. Solos. In: ADAMY, A. *Geodiversidade do estado de Rondônia: Programa Geologia do Brasil. Levantamento da geodiversidade*. CPRM, p. 56-78. Disponível em: < http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15691/2/Geodiversidade_RO.pdf>. Acesso em: jan. 2020.
- Silva, L.F.S.D. 2015. *Formação Serra Geral (Cretáceo, Bacia do Paraná) - Um modelo análogo para reservatórios não convencionais fraturados*. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 73p.
- Strugale, M.; Rostirolla, S.P.; Mancini, F. & Portela Filho, C.V. 2004. Compartimentação Estrutural das Formações Pirambóia e Botucatu na Região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(3): 303-316.
- Trevisan, D.P. 2015. *Análise das variáveis ambientais causadas pelas mudanças dos usos e cobertura da terra do município de São Carlos, São Paulo, Brasil*. Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Dissertação de Mestrado, 94p.
- Trevisan, D.P.; Moschini, L.E.; Dias, L.C.C. & Gonçalves, J.C. 2018. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos–SP. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 44: 272-288.
- Trevisan, D.P. & Moschini, L.E. 2016. Determinação das áreas com fragilidade ambiental do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 20(3): 159-167.

Recebido em: 01/06/2020

Aprovado em: 18/11/2020

How to cite:

Rissi, P.R.; Assis, L.C.; Ruggiero, M.H.; & Moschini, L.E. 2021. Análise do Zoneamento do Plano Diretor e sua Relação com a Fragilidade Ambiental do Município de São Carlos – SP. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 35152. DOI 1982-3908_2021_44_35152