

GABRIEL RONDINA PUPO DA SILVEIRA

**ANÁLISE MULTICRITERIAL E GEOTECNOLOGIA APLICADAS NA
RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO ARAQUAZINHO, SÃO MANUEL (SP) VISANDO A
SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS**

GABRIEL RONDINA PUPO DA SILVEIRA

**ANÁLISE MULTICRITERIAL E GEOTECNOLOGIA APLICADAS NA
RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO ARAQUAZINHO, SÃO MANUEL (SP) VISANDO A
SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Campos

Botucatu
2019

S587a

Silveira, Gabriel Rondina Pupo da

Análise multicriterial e geotecnologia aplicadas na recomposição florestal da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP) visando a sustentabilidade dos recursos naturais / Gabriel Rondina Pupo da Silveira. -- Botucatu, 2019

85 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Sérgio Campos

1. Multicritérios. 2. Sustentabilidade. 3. Dados espaciais. 4. Geotecnologia. 5. SIG. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ANÁLISE MULTICRITERIAL E GEOTECNOLOGIA APLICADAS NA RECOMPOSIÇÃO FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAQUAZINHO, SÃO MANUEL (SP) VISANDO A SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS

AUTOR: GABRIEL RONDINA PUPO DA SILVEIRA

ORIENTADOR: SÉRGIO CAMPOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dr.^a YARA MANFRIN GARCIA
Bauru/SP / .



Prof.^a Dr.^a TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof.^a Dr.^a FERNANDA LEITE RIBEIRO
Geociências / Universidade Estadual de Londrina



Prof. Dr. LINCOLN GEHRING CARDOSO
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 28 de junho de 2019

DEDICO

A DEUS, por me dar forças em toda a caminhada, sempre me dando luz e conforto em todas as ações e decisões da minha vida.

Aos meus pais, Marinho e Cidinha, por sempre acreditarem em mim, e me darem apoio e conforto em tudo na minha vida. Sem vocês, não teria chegado até aqui. Me espelho e amo muito vocês.

À minha amada esposa Caroline, por todo amor e cumplicidade. Pela ajuda e dedicação. Por me fazer feliz, e por deixar a vida mais leve!

Aos meus queridos irmãos Rafael e Raquel, por todos os momentos em família e por sempre estarem presentes em minha vida, sempre me ajudando em todos os momentos da vida, cada um com seu jeito, mas sempre com muito amor.

Às minhas avós Aparecida e Idméa, por toda dedicação, cuidado e companhia a mim prestados, desde sempre

Aos meus avôs, Antônio Rondina Pinto (in memoriam) e Mário Pupo da Silveira (in memoriam), que mesmo não presentes na vida terrena, sempre estão presentes no meu coração.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Campos, agradeço pela pessoa maravilhosa, amiga e generosa.

Obrigado pela confiança, desde o início de 2010, quando me recebeu em sua sala, e me aceitou como estagiário.

Serei eternamente grato a todos os ensinamentos e dedicação a mim prestados durante todos esses anos, que me auxiliaram muito no crescimento profissional e pessoal.

Sempre admirarei o senhor.

Muito obrigado, professor!

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP/Botucatu), que me recebeu em 2009, na minha graduação. Local em que obtive conhecimentos acadêmicos e pessoais, que aprendi a profissão que amo, por meio de grandes mestres, por ser o local em que fiz grandes amizades que levarei por toda minha vida.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP/Botucatu), por ter me recebido para o desenvolvimento de meus trabalhos científicos.

Aos coordenadores do programa de pós-graduação em Agronomia/ Energia na Agricultura, pela oportunidade e confiança para realização do doutorado.

Aos responsáveis pelo laboratório de Topografia e Sensoriamento Remoto, Prof, Dr. Zacarias Xavier de Barros e Dr. Ronaldo Alberto Pollo, por todos os ensinamentos na área de Topografia, Sensoriamento Remoto e Cartografia, no auxílio dos levantamentos de campo deste trabalho e por todos os ensinamentos e incentivos profissionais e pessoais.

Aos Profs. Drs. Lincoln Gehring Cardoso, Sérgio Campos e Zacarias Xavier de Barros por todos os ensinamentos na área de Topografia e por todo o auxílio prestado tanto no campo pessoal, como profissional.

Aos Professores Doutores Yara Manfrim Garcia, Rafael Calore Nardini, Fernanda Leite Ribeiro, Ronaldo Alberto Pollo, Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Lincoln Gehring Cardoso e Edson Luís Piroli, por aceitarem serem membros das bancas deste trabalho e por todas as sugestões que contribuíram muito para a realização deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, especialmente a Aline Kuramoto Gonçalves, Amanda Aparecida de Lima e Ana Clara de Barros, por toda a contribuição na realização deste trabalho.

Aos meus sogros, Atílio e Gláucia, por todo incentivo, apoio, confiança, e por todos os ensinamentos que ajudaram no meu crescimento.

A todos os docentes e funcionários do departamento de Engenharia Rural.

Às secretarias do programa da seção de Pós-graduação por todo o profissionalismo no que foi necessário.

Aos colaboradores da Biblioteca, em especial Ana Lucia de Grava Kempinas e Maísa Coelho França, por toda orientação e apoio.

A todos que não tiveram seu nome citado, mas que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho, meu muito obrigado.

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

“ Você nunca sabe que resultados virão de sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados. ”

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

O planejamento ambiental é um processo que tem sido considerado por muitos pesquisadores, em diversos trabalhos, seja acadêmico ou por empresas, pelo fato da degradação causar prejuízos ao ecossistema. O projeto apresentado teve como objetivo o estudo da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, no município de São Manuel (SP), visando o diagnóstico da área quanto à ocupação do território e, por consequência, os processos de degradação que nele ocorrerem, por meio da definição de áreas prioritárias à recomposição florestal. Como metodologia, utilizou-se a Avaliação Multicriterial, em ambiente SIG, por meio dos métodos da Combinação Linear Ponderada (CLP). Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a bacia hidrográfica do rio Araquazinho necessita de cuidados, pois apresenta níveis altos para a recomposição florestal, pelo fato de aproximadamente 87,08% (5832,85ha) da área do total da bacia hidrográfica, além de apresentar apenas 10,77% de área total destinada para a preservação, valor menor do que os 20% proposto pela legislação ambiental vigente. A técnica CLP se mostrou uma eficiente ferramenta para o tomador de decisão, por gerar informações direcionadas ao considerar diversos fatores que impactam o ambiente, resultando em uma informação direcionada das áreas prioritárias para recomposição florestal. A bacia apresenta-se ocupada em grande parte para fins agrícolas, com 87,37% (5852,02ha) da área total ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar, mostrando o potencial agrícola da bacia, com solos bons e boa declividade, fato este comprovado pelo estudo da capacidade de uso do solo, que apresenta 91,84% (6151,53ha) da bacia com classe II, que são terras próprias para fins agrícolas, porém podendo apresentar problemas de erosão. Os resultados foram divulgados para o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Sindicato Rural dos produtores rurais de São Manuel com o intuito de conscientizar e informar as áreas prioritárias, visando informar a respeito da importância ambiental, além de fornecer subsídios e caracterizar áreas mais propícias para o desenvolvimento racional das atividades econômicas e áreas que devem ser reflorestadas, permitindo a utilização dos resultados para o desenvolvimento da região.

Palavras-chave: Multicritérios. Sustentabilidade. Dados espaciais. Geotecnologia. SIG.

ABSTRACT

Environmental planning is a theme that had been considered by many researchers, in several works, academics or companies, because degradation causes damage to the ecosystem. For these reasons, this project had the objective of generating a database of the watershed of Araquazinho, in São Manuel (SP), aiming the diagnosis of the use and occupation of the area and consequently, the degradation processes that it has, with the definition of priority areas for forest restoration. As a methodology, it was used the Multicriteria analysis in a GIS environment, using the Weighted Linear Combination methods, which proved to be an efficient tool for the decision maker, for generating targeted information when considering several factors that impact the environment, resulting in a targeted information of the priority areas for forest recomposition. Based on the results, it can be concluded that the watershed of Araquazinho has 87,08% (5832.85ha) of the total area, and only 10,77% of the area total destined to preservation, less than 20%, proposed by the current legislation. The CLP technique has proved to be an efficient tool for decision makers, as it generates targeted information when considering various factors that affect the environment, resulting in information on priority areas for forest restoration. Based on the analysis of the use and occupation of the soil in the watershed, it was concluded that the area is used in almost totality for agricultural purposes, that presents 87,37% (5852,02ha) of the total area occupied by sugarcane cultivation sugarcane, showing the agricultural product in the watershed, with goods soil and degrees of decline, and the capacity of use of the soil shows 91,84% (6151,53) of the watershed with class II, which are rich lands for agricultural use, although they may present erosion problems. All results were disseminated to the Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Rural group of farms of São Manuel with the purpose of raising awareness and informing as priority areas, in addition to promoting environmental awareness, as well as providing subsidies and characterize more propitious areas to the rational development of activities and areas that can be reforested, allowing the use of the results for the development of the region.

Key Word: Multicriteria. Sustainability. Spatial data. Geotechnology. SIG.

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 Metragem das Áreas de Preservação Permanente aplicadas segundo o Código Florestal Brasileiro em vigência (Lei nº 12.727/2012.....	30
Quadro 2 Escala de comparação de critérios.....	35
Quadro 3 Intervalos de classes de declive para conservação de solos.....	49

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Tabela de julgamento das classes de capacidade de uso das terras.....	51
Tabela 2 Atribuição de notas para os dois fatores contribuintes para a classificação do parâmetro “deflúvio.....	52
Tabela 3 Intervalos para enquadramento dos critérios de deflúvio.....	52
Tabela 4 Limitações de uso para definições das subclasses.....	53
Tabela 5 Cores características para representação de classes de capacidade de uso.....	54
Tabela 6 Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araquazinho- São Manuel (SP).....	60
Tabela 7 Uso do solo nas APPs da bacia hidrográfica do rio Araquazinho- São Manuel (SP).....	62
Tabela 8 Classes de Declive ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Araquazinho- São Manuel (SP).....	64
Tabela 9 Unidades de solo ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Araquazinho- São Manuel (SP), obtidas pelo SIG-Idrisi Selva.....	67
Tabela 10 Determinação das classes de capacidade de uso pelos critérios da tabela de julgamento.....	68
Tabela 11 Área e percentual para cada classe de capacidade de uso da Terra.....	69
Tabela 12 Matriz de comparação dos pares para os fatores.....	70
Tabela 13 Peso dos fatores.....	72
Tabela 14 Área e percentual das cinco classes de prioridade à recomposição florestal na bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP).....	73

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Largura da faixa de APP (vegetação ciliar) de acordo com a legislação.....	31
Figura 2 Localização da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel SP.....	37
Figura 3 Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº10, a qual está localizado o município de São Manuel, SP.....	38
Figura 4 Aproximação e destaque da área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de São Manuel, SP.....	40
Figura 5 Aproximação e destaque da área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de Barra Bonita, SP.....	41
Figura 6 Banda TM 6 do sensor OLI – Operational Land Imager do LANDSAT 8.....	42
Figura 7 Banda TM 5 do sensor OLI – Operational Land Imager do LANDSAT – 8.....	42
Figura 8 Banda TM 4 do sensor OLI – Operational Land Imager do LANDSAT – 8.....	43
Figura 9 Recorte da imagem de satélite do sensor OLI do LANDSAT – 8 na bacia hidrográfica do rio Araquazinho– São Manuel, SP, delimitada pelos seus divisores de água.....	44
Figura 10 Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	47
Figura 11 Planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	47
Figura 12 Escala contínua utilizada na Matriz de Comparação Pareada para geração dos pesos de cada fator na Análise Multicriterial.....	57
Figura 13 Uso e ocupação do solo da bacia do rio Araquazinho- São Manuel (SP) obtida pela imagem de satélite de 2016.....	59

Figura 14	Áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia.....	61
Figura 15	Uso e ocupação do solo em APPs na bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP.....	62
Figura 16	Carta clinográfica da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP).....	63
Figura 17	Distribuição das classes de solo encontradas da bacia hidrográfica do rio Araquazinho- São Manuel (SP).....	66
Figura 18	Distribuição das classes de capacidade de uso da Terra da bacia hidrográfica do rio Araquazinho- São Manuel (SP).....	69
Figura 19	Mapa de Áreas Prioritárias à recuperação da vegetação nativa da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP), por Combinação Linear Ponderada (classes de prioridade).....	73
Figura 20	Divulgação dos resultados obtidos.....	75
Figura 21	Divulgação dos resultados obtidos.....	76
Figura 22	Divulgação dos resultados obtidos.....	76
Figura 23	Divulgação dos resultados obtidos.....	77

SUMÁRIO

		Páginas
1	INTRODUÇÃO.....	25
2	OBJETIVOS.....	27
2.1	Objetivo Geral.....	27
2.2	Objetivos Específicos.....	27
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	28
3.1	Bacia hidrográfica.....	28
3.2	Geoprocessamento no diagnóstico ambiental.....	28
3.3	Áreas de preservação permanente e Reserva Legal.....	30
3.4	Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias a recomposição florestal.....	32
3.5	Métodos de determinação de pesos.....	34
3.6	Planejamento ambiental na conservação dos recursos hídricos.....	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	Materiais.....	37
4.1.1	Caracterização geral da área em estudo.....	37
4.1.2	Bases topográficas.....	39
4.1.3	Dados orbitais.....	41
4.1.4	Equipamentos.....	44
4.1.5	Aplicativos.....	44
4.2	Métodos.....	46
4.2.1	Banco de dados da área de estudo.....	46
4.2.2	Georreferenciamento da carta planialtimétrica, delimitação da bacia hidrográfica e vetorização dos elementos.....	46
4.2.3	Obtenção do mapa de uso das terras em imagem de satélite.....	48
4.2.4	Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs)..	48
4.2.5	Obtenção do mapa de solos da bacia.....	49
4.2.6	Obtenção da carta clinográfica (declividade).....	49
4.2.7	Elaboração do mapa de capacidade de uso.....	50

4.2.8	Regra de decisão.....	54
4.2.9	Fatores.....	54
4.2.10	Normalização dos fatores.....	55
4.2.10.1	Proximidade das nascentes.....	55
4.2.10.2	Proximidade da rede de drenagem.....	55
4.2.10.3	Proximidade de processos erosivos.....	56
4.2.10.4	Declividade.....	56
4.2.10.5	Proximidade da cobertura florestal.....	56
4.2.11	Restrições.....	56
4.2.12	Peso dos fatores.....	56
4.2.13	Matriz de comparação pareada.....	57
4.2.14	Análise multicriterial.....	57
4.2.14.1	Combinação Linear Ponderada (CLP).....	57
4.2.15	Divulgação dos resultados obtidos.....	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1	Uso e ocupação do solo.....	59
5.2	Conflito de uso.....	60
5.3	Classes de declive.....	63
5.4	Unidades de solo.....	64
5.5	Levantamento das classes de capacidade de uso.....	67
5.6	Levantamento das restrições quanto a recuperação florestal.	70
5.7	Definição dos pesos quanto às classes.....	70
5.8	Mapa de áreas para a recomposição florestal da bacia hidrográfica do rio Araquazinho.....	72
5.9	Divulgação dos resultados obtidos.....	74
6	CONCLUSÕES.....	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental vem adquirindo grande importância em caráter mundial, com envolvimento direto da sociedade e de instituições governamentais e privadas, buscando um planejamento ideal para a conservação natural.

A preocupação com relação ao planejamento ambiental surgiu devido ao aumento da competição de empresas por recursos naturais e energéticos, principalmente água, terra e vegetação, sendo fatores imprescindíveis para o planejamento do uso da terra, a fim de tornar compatível a utilização com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida da população. Com base nessas características, essa preocupação surgiu em busca de uma solução aos conflitos que possam ocorrer entre as metas da conservação do ambiente e do desenvolvimento tecnológico (SANTOS, 2004).

O diagnóstico ambiental é considerado como análise prioritária na detecção dos principais impactos sobre o meio ambiente e para auxiliar na proposição de medidas que minimizem ou sanem os fatores de agressão. A informação fornecida por este diagnóstico permite a formulação de medidas pertinentes de controle das atividades agrícolas e pecuárias e planejamento das áreas de vegetação natural. A busca por novas tecnologias para estudos e monitoramento ambientais tem se tornado cada vez mais frequente.

O sensoriamento remoto é um exemplo do avanço das tecnologias no meio do planejamento ambiental, principalmente com a utilização de imagens de satélite, utilização de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou Veículo Aéreo Remotamente Pilotado (VARP), mais conhecidos como “drones”, aliadas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), agilizando a obtenção de dados importantes e com grandes informações, que dificilmente seriam obtidos sem essas tecnologias.

Por meio da utilização de técnicas de análise de múltiplos critérios pode-se observar a presença de erosões e outros problemas ambientais. A aplicação da análise multicriterial é importante por demonstrar cenários de prioridade da recomposição florestal. Com a utilização do SIG e dos mapas resultantes do diagnóstico ambiental, a confecção dos mapas prioritários é rápida e ágil.

Vários podem ser os fatores empregados, como, por exemplo, distância das nascentes, da rede de drenagem, dos processos erosivos e dos fragmentos

florestais e declividade, todos representados por mapas matriciais, com valores padronizados.

Assim, com a complexidade da análise individual de todos os fatores que envolvem a degradação do ambiente, a tecnologia existente, como drones, *softwares* SIGs e CADs, imagens de satélite cada vez mais avançadas e com melhor resolução, tecnologias artificiais e outras, que vem a somar para o avanço da fiscalização ambiental e consequente redução de desmatamentos, e outros impactos ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo analisar/propor a recomposição florestal por meio de técnica de Análise Multicriterial, utilizando *softwares* SIG na bacia hidrográfica do rio Araquazinho, município de São Manuel (SP), estado de São Paulo, fornecendo subsídios para os produtores rurais e administradores e auxiliando em recursos para aumentar a conservação dos recursos naturais.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, este trabalho pretende:

- Geração de mapa de áreas prioritárias da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, localizada no município de São Manuel (SP).
- Utilização de imagens de satélite no software SIG - Idrisi Selva.
- Elaborar os mapas temáticos sobre os diferentes aspectos estudados, importantes para o reconhecimento da área e para a elaboração da recomposição florestal, elaborar um memorial descritivo, como propostas de linha da ação para chegar ao desenvolvimento sustentável;
- Apresentar aos órgãos públicos e aos produtores, junto à Casa da Agricultura (CATI), Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Sindicato Rural dos produtores rurais de São Manuel, por meio de palestras e cartilhas, além de fornecimento do material gerado neste trabalho, a respeito da importância do planejamento ambiental para o desenvolvimento sustentável.
- Fornecimento de subsídio para futuros projetos de recomposição do município ou em outras localidades.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica tem sido considerada como unidade territorial de trabalho para o planejamento ambiental, pois nela estão inseridos os recursos naturais (MENEZES, 2001). Conforme Argento e Cruz (1996), uma bacia hidrográfica é delimitada pelos divisores de água, que são os pontos mais altos, cadastrados pelos pontos de inflexão das curvas de nível, traçando-se uma linha divisora de águas que liga os pontos mais elevados da região em torno da drenagem considerada.

Para Silveira (1993), os processos que nessa área ocorrem são representados pelo balanço hídrico entre a água que entra pela precipitação, e a que sai, por meio de evaporação, transpiração e infiltração e percolação para os lençóis freáticos e artesianos.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação, sendo que a água que compõe a bacia, tem um único ponto de saída, denominado exutório, que apresenta a maior vazão da rede de drenagem da bacia hidrográfica (TUCCI, 1997). São áreas representadas por rede de drenagem e características topográficas, e dentro das bacias ocorre o ciclo hidrológico e as interações ambientais, consolidando-se como unidade geográfica de planejamento do uso e ocupação das terras, tanto no meio rural quanto urbano, visando o desenvolvimento sustentável e melhor planejamento ambiental (SOUZA; FERNANDES, 2000).

3.2 Geoprocessamento no diagnóstico ambiental

Conforme Calijuri et al. (1994), os Sistemas de Informações Geográficas são uma excelente ferramenta para periciar fenômenos diversos, relacionados a todo tipo de engenharia, seja urbana, ambiental ou rural. Desta forma, os SIGs vieram para auxiliar no armazenamento de um banco de dados e análise destes, para formar resultados que auxiliam na tomada de decisão quando o volume de informações é grande (CAMPOS et al., 2016)

De acordo com Campos et al. (2016), o SIG – Idrisi Selva é uma ferramenta importante, pois permite a geração de informações que podem ajudar o planejador a criar uma estratégia de monitoramento e uso racional da microbacia.

Existem diferentes abordagens para se determinar áreas prioritárias, como o emprego de modelos hidrológicos, índices de produção, entre outros, porém sua eficiência é aumentada quando são atrelados aos SIGs, pelo fato de sua grande capacidade de processamento de dados de fontes espaciais (VETTORAZZI, 2006). Diversos sistemas estatísticos de apoio à decisão, apropriados ao estudo de áreas prioritárias têm sido desenvolvidos ou adaptados para operar em ambiente SIG, destacando-se aqueles que têm por base a avaliação de múltiplos critérios, como os métodos da Análise Booleana, da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada.

A análise multicritério é um sistema estatístico atrelado ao SIG que se faz necessário, pelo fato de conseguir processar em uma única plataforma várias características, cada qual com sua subjetividade, e alinhá-las em uma única resposta, de forma clara, eficiente e direta para o planejador.

De acordo com Silveira (2016), a preservação das áreas de preservação permanente (APPs), que são faixas marginais que circundam as redes de drenagem, são de fundamental importância na gestão de bacias hidrográficas, pois contribuem para a estabilidade dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, visando a proporcionar condições de sustentabilidade à agricultura.

Scolpel, Assad e Orioli (1993), por meio da utilização de produtos de sensoriamento remoto criaram índices hierárquicos de erosão do solo em diversas épocas. As fotografias aéreas, as imagens de satélites, uso de dropes e outros veículos aéreos não tripulados (Vants) são ferramentas recentes utilizadas em projetos de sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental. De acordo com Morgan (2010), os VANTS apresentam fácil adaptabilidade para diversos estudos e necessidades, sendo que suas imagens estão diretamente relacionadas a parâmetros como resoluções, escalas e tipos de sensores.

Conforme Silveira (2016), por meio da utilização de geotecnologias, aliadas com estudos do comportamento físico do terreno e análises ambientais, mostraram-se uniões interessantes, por relacionar técnicas eficientes e precisas com temáticas importantes, que interferem diretamente na preservação e recuperação de áreas, gerando informações de alto interesse para a população e órgãos públicos, além de subsídios para recuperar e preservar a área em estudo, que não se encontra ambientalmente preservada, e servir como base para futuros trabalhos.

3.3 Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal

Áreas de Preservação Permanente (APPs) são faixas marginais a todas as redes de drenagem, perenes ou intermitentes, que tem por objetivo a manutenção do fluxo de água.

Conforme Código Florestal Brasileiro (Lei 12.727/2012), segundo o art. 6º deste, “Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinada”:

- I- Conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha;
- II- Proteger as restingas ou veredas;
- III- Proteger várzeas;
- IV- Abrigar exemplares da fauna ou da flora ameaçados de extinção;
- V- Proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico, cultural ou histórico;
- VI- Formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;
- VII- Assegurar condições de bem-estar público;
- VIII-Auxiliar a defesa do território nacional, a critério das autoridades militares;
- X- Proteger áreas úmidas, especialmente as de importância internacional (BRASIL, 2012).

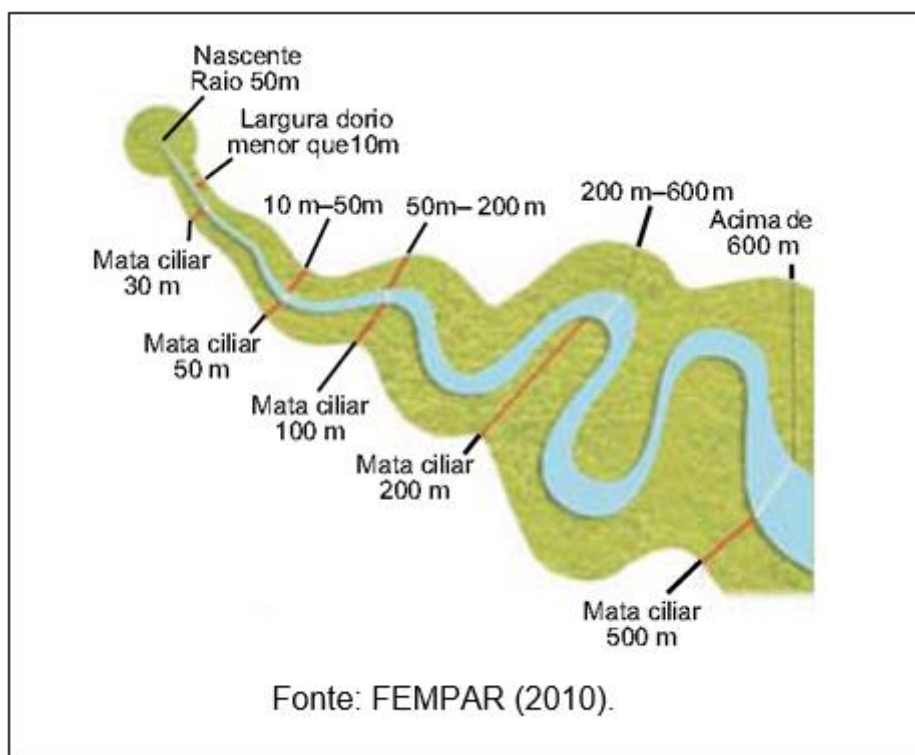
As Áreas de Preservação Permanente (APPs) (Quadro 1), aplicadas nas margens dos rios, conforme o Código Florestal, mostram a metragem em relação a faixa de preservação permanente de acordo com a largura (a partir do leito regular) do curso d'água.

Quadro 1 - Metragem das Áreas de Preservação Permanente aplicadas segundo o Código Florestal Brasileiro em vigência (Lei nº 12.727/2012).

Largura (Rios ou Córregos em m)	Faixa de Preservação em cada margem
Até 10	30 m
Entre 10 e 50	50 m
Entre 50 e 200	100 m
Entre 200 e 600	200 m
Superior a 600	500 m
Nascentes	Raio de 50 m

A Figura 1 exemplifica as APPs necessárias em cada largura de rio, mostrando a dimensão e proporção da APP com o rio que esta compõe.

Figura 1 - Largura da faixa de APP (vegetação ciliar) de acordo com a legislação.



Zakia (2013), definiu as APPs em tipos, levando em consideração suas características naturais e estado físico em que se encontram. Foi subdividido em: Hídrica natural, quando são nascentes, cursos d'água intermitentes ou perenes, lagoas e lagos naturais e veredas; Reservatório, quando encontram-se com reservatórios d'água artificiais, decorrentes de projeto de barragens, vertedores, represamento e obras hidráulicas no geral construídas em cursos d'água naturais; Relevo, que compreendem áreas vegetadas em encostas, bordas dos tabuleiros, chapadas, topo de morros, montes, montanhas e serras; e por último, áreas associadas a costeira, ou seja, restingas e manguezais.

Para a definição das APPs, se faz necessária a análise do módulo fiscal da região em que a propriedade rural está presente, sendo que essa definição deve ser feita com base na área da propriedade que consta em sua matrícula.

O código florestal brasileiro em vigência (Lei nº 12.727/2012) ainda define como importância para a preservação ambiental, a área de reserva legal e o manejo

florestal sustentável, variando de acordo com o bioma em que está a propriedade. Um manejo agroindustrial florestal sustentável pode-se produzir o suficiente para a demanda humana e conservar a natureza (SENADO FEDERAL, 2011).

Nas propriedades na Amazônia Legal, 80% em área de floresta, 35% no Cerrado e 20% nas demais vegetações, e no resto do país, 20%, sendo que essas normas foram mantidas na legislação atual.

O conceito de Reserva Legal - RL vem previsto no artigo 3º, inciso III do novo código florestal, como:

“Área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. nº 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa” (BRASIL, 2012).

Complementado pelo artigo 12, definem-se os percentuais da área protegida:

“Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, observados os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel, excetuados os casos previstos no art. nº 68 desta Lei. ” (BRASIL, 2012).

Caso o imóvel esteja localizado na Amazônia Legal, o qual necessita maior preservação, deve ser aplicado para a Reserva Legal:

- a) 80% do imóvel situado em área de florestas;
- b) 35% do imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% do imóvel situado em área de campos gerais;

E, nas demais regiões localizadas no território brasileiro, aplica-se 20% da área total da propriedade. ”

3.4 Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias a recomposição florestal

A análise multicriterial é considerada um auxílio para a análise ambiental na perspectiva do sistema aberto e dinâmico, permitindo uma maior conexão com a realidade quando se considera a relação ponderada entre as variáveis analisadas dentro das peculiaridades de cada território. A análise sintetiza os dados complexos

e multidimensionais, em que, o tomador de decisão procura ordenar elementos de um conjunto de alternativas do melhor ao pior (MIARA; OKA-FIORI, 2007; PONPERMAYER, 2007; FRANCISCO et al., 2008; EASTMAN, 2012).

De acordo com Eastman (2001), são a base do processo de tomada de decisão e que podem ser medidos e avaliados, sendo que os critérios levam a um conjunto de evidências para facilitar o tomador de decisão.

Collins, Steiner e Rushman (2001) ressaltam que, dentre as aplicações mais comuns dos SIGs na área de planejamento e manejo ambiental está a análise e o mapeamento da aptidão de uso da terra.

Segundo Store e Kangas (2001), a definição de áreas prioritárias com base nos SIGs tem sido amplamente aplicada em uma variedade de situações, principalmente quando se diz respeito a áreas prioritárias de recomposição, ou seja, áreas que sofrem riscos à fauna e flora.

O objetivo da análise multicriterial é auxiliar estatisticamente o gestor na análise dados complexos, buscando a melhor estratégia de gestão do meio ambiente, considerando diversas alternativas que se resumem em uma decisão a ser tomada; aos eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados (PONPERMAYER, 2007; EASTMAN, 2012; OLIVEIRA et al., 2014).

Segundo Eastman (2001), os fatores que envolvem a análise multicriterial podem aumentar ou diminuir a possibilidade de um fato ocorrer em caso de uma certa característica representativa da área.

De acordo com Lopes, Lourenço e Reuss-Strenze (2016), na utilização da análise multicriterial, os critérios de distância e proximidade dos atributos ambientais e o grau de importância determinado para atingir os objetivos de conservação e desenvolvimento mostraram-se eficientes na condução da tomada de decisão sobre os locais onde permitir atividades socioeconômicas e ambientais sobre uma unidade conservadora de uso sustentável.

Em *softwares* SIGs, a análise multicriterial se mostra eficiente quanto ao mapeamento de áreas prioritárias à restauração florestal em bacias hidrográficas, além da combinação linear ponderada ser flexível e fácil de ser implantada, facilitando a tomada de decisão pelo meio acadêmico, público e consultores. (SARTORI, 2010).

Diversos métodos de avaliação por multicritérios foram implementados dentro dos SIGs, dos quais Malczewski (2004) e Eastman (2003) citaram as operações Booleanas, a Média Ponderada Ordenada e a Combinação Linear Ponderada, sendo os dois primeiros mais simples e comumente empregados.

No método de Combinação Linear Ponderada, o analista deve padronizar os fatores, criando critérios que condizem a escala numérica comum, atribuindo pesos.

3.5 Métodos de determinação de pesos

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) é um método de multicritérios que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar. Nesse método, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, o que facilita a melhor compreensão e avaliação do mesmo.

O método AHP consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até se chegar a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho, o qual permite atribuir pesos aos fatores, no contexto de tomada de decisão.

O AHP foi desenvolvido por Saaty (1977) e consiste na técnica de escolha baseada na lógica de comparação pareada. Nesse método, os diferentes critérios que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois, sendo atribuído um valor de julgamento ao relacionamento entre eles.

O Quadro 2 apresenta os valores da escala e seus respectivos significados.

Quadro 2 - Escala de comparação de critérios.

Valores	Significado
1	Igual importância: os dois critérios contribuem de forma igualmente para o objetivo pretendido.
3	Pouco (moderadamente) mais importante: um critério é um pouco mais importante que o outro.
5	Muito mais importante: um dos critérios é claramente mais importante que o outro
7	Fortemente mais importante: um dos critérios é predominantemente mais importante que outro.
9	Extremamente mais importantes: sem dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo
Valores recíprocos	Se um critério “i” possui um dos valores anteriores quando comparado com o critério “j”, então o critério “j” possui um valor recíproco quando comparado.
2,3,4,6 e 8	Valores intermediários de julgamento

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2004).

No método AHP deve-se avaliar e julgar a importância relativa de cada critério com relação aos outros existentes no meio, criando-se um modelo hierárquico, que calcula uma Razão de Consistência (RC) que varia entre zero (0) e um (1). (CÂMARA, MONTEIRO; MEDEIROS, 2001; SAATY; VARGAS, 1991).

3.6 Planejamento ambiental na conservação dos recursos hídricos

O planejamento ambiental tem sido uma preocupação nas últimas décadas, em função do aumento da atenção dada as questões relacionadas à preservação dos recursos naturais, notadamente solo e água, além de recursos energéticos e biológicos, o que por sua vez gerou a necessidade de organizar o uso da terra, de compatibilizar esse uso com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida das populações (ALMEIDA, 1993).

Segundo Pollo (2013), a preservação ambiental é um grande desafio que exige não só das autoridades responsáveis, mas também da ação conjunta e consciência das comunidades que englobam o território. O mesmo destacou Garcia (2014), ao afirmar que o planejamento ambiental é um resultado do aumento da competição da busca de recursos naturais, sendo fatores determinantes na organização do uso da terra, a fim de tornar compatível a utilização com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida da população.

Silveira et al. (2013), destacou que a fiscalização da aplicação da lei se faz importante para que os recursos naturais sejam preservados, já que estão cada vez mais escassos e competitivos.

O Código Florestal (Lei nº 12.727), sancionado em 17 de outubro de 2012, alterou a Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; alterou as Leis nºs6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2ºdo art. 4ºda Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, estabelecendo normas gerais sobre a proteção da vegetação, APPs e as áreas de Reserva Legal.

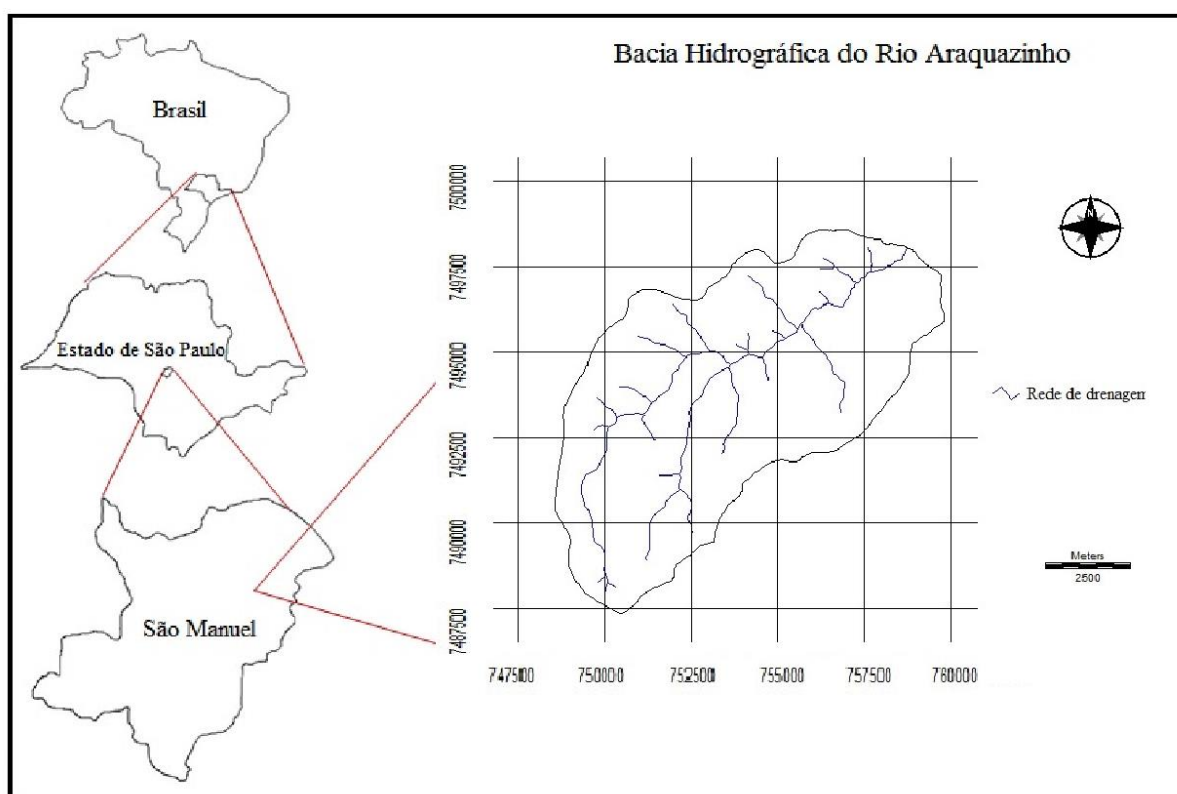
4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 MATERIAL

4.1.1 Caracterização geral da área em estudo

O município de São Manuel localiza-se na região centro-sul do estado de São Paulo, distante 284 km da cidade de São Paulo. Pertence à mesorregião do sudoeste paulista e à microrregião da Serra de Botucatu. O município está localizado entre as coordenadas: 48° 30' a 48° 45' de longitude W Gr. e 22 ° 30' a 22 ° 45' de latitude S (Figura 2).

Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Araquazinho - São Manuel, SP.



O clima predominante no município é do tipo Aw conforme classificação de Köppen sendo: clima tropical com estação seca de inverno (meses de junho/julho/agosto) e chuvas predominantes no verão, temperatura média anual de

20.8 °C e precipitação média anual de 1464.8 mm, com altitude de 700 metros (CEPAGRI, 2018).

A bacia hidrográfica está localizada na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos nº10, UGRHI 10 (Figura 3), ou seja, localiza-se na unidade Sorocaba/Médio Tietê (SMT), unidade com 6830 km² ou 683000ha (SIGRH, 2018).

Figura 3 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº10, a qual está localizada a bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel, SP.



Fonte: SIGRH (2019)

A região em que a bacia hidrográfica está inserida tem a agricultura como um grande potencial para seu desenvolvimento, com destaque para a produção de cana-de-açúcar, café e laranja.

Limita-se ao norte com Igaraçu do Tietê, Barra Bonita e Mineiros do Tietê; ao sul com Pratânia; a leste com Botucatu e Dois Córregos e a oeste com Areiópolis e Lençóis Paulista.

A região apresenta cobertura vegetal primitiva composta por floresta latifoliada tropical, cerrados, cerradões, campos cerrados e campos.

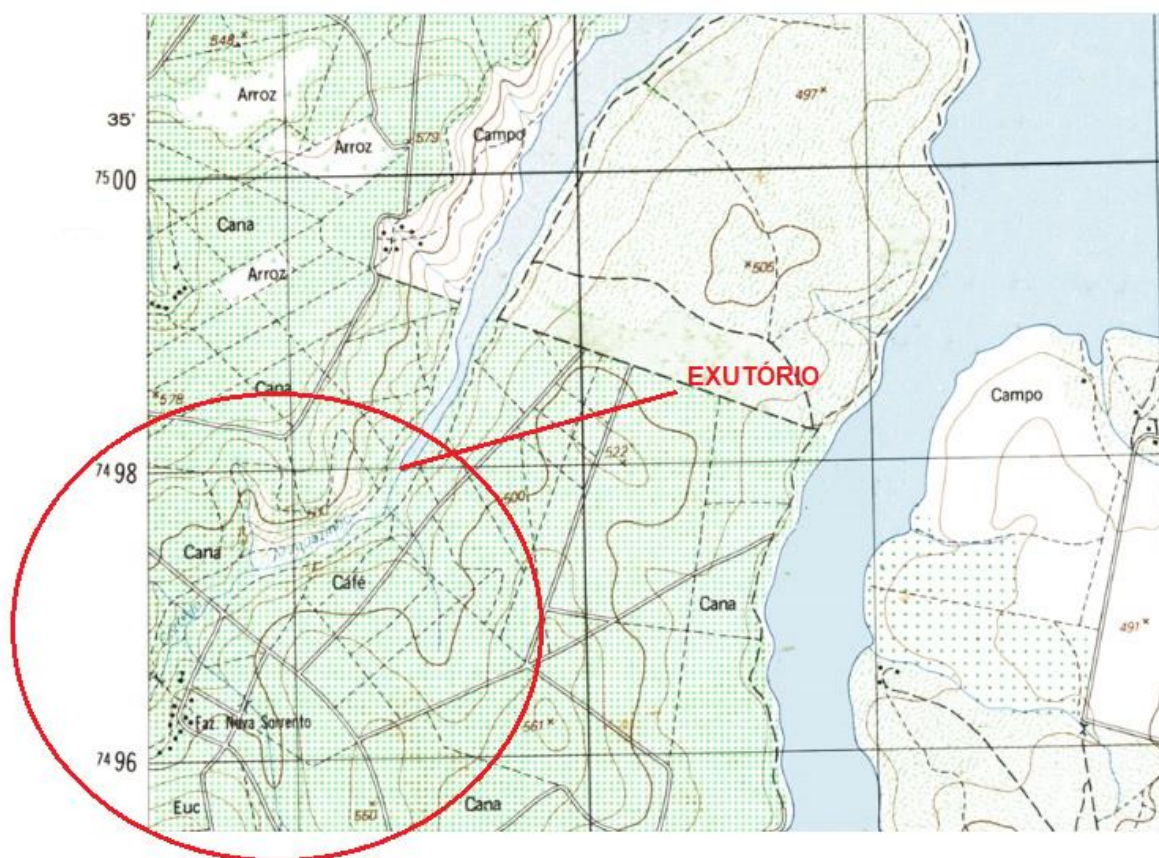
Conforme Oliveira et al. (1999), os solos predominantes no município são o LATOSSOLO VERMELHO AMARELOS (LVA); LATOSSOLO VERMELHOS (LV); NEOSSOLOS LITÓLICOS (RL) e o NEOSSOLOS QUARTZARÊNICO (RQ).

4.1.2 Bases topográficas

No presente estudo, os pontos de apoio planialtimétricos e de controle no processo de georreferenciamento da imagem digital do satélite, bem como as curvas de nível foram obtidos das cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, folhas de São Manuel (SF-22-Z-B-V-2) e Barra Bonita (SF-22-Z-B-VI-1), em escala 1:50000, cartas estas que abrangem a área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, município de São Manuel, estado de São Paulo.

A Figura 4 apresenta a ilustração da parte da carta planialtimétrica do município de São Manuel, carta que concentra a maior parte da área da bacia em estudo.

Figura 5 - Ilustração da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, na carta planialtimétrica do município de Barra Bonita, SP.



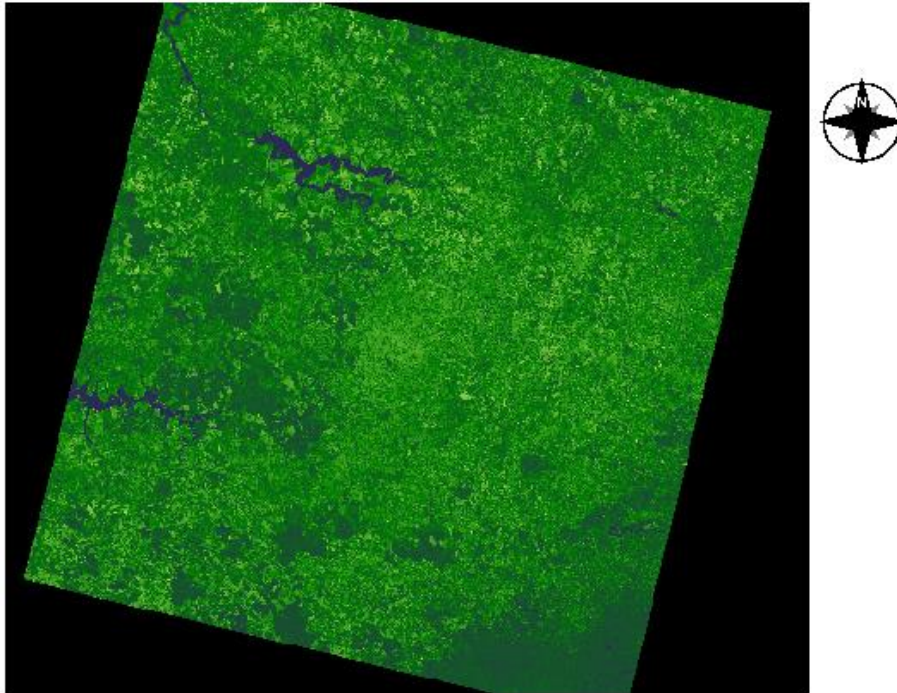
4.1.3 Dados orbitais

No estudo foi utilizada uma imagem de satélite digital, obtida a partir da composição das bandas 6, 5 e 4 do sensor *OLI – Operational Land Imager* do *LANDSAT – 8*, da órbita 220, ponto 76, quadrante A, passagem de 2016, escala 1:50000, com Projeção/Datum *SIRGAS 2000*, UTM Zona 22 Sul, sendo utilizadas na delimitação e classificação supervisionada em tela, destacando os usos presentes.

O satélite Landsat apresenta um total de 9 bandas espectrais, obtidas a cada passagem no local. Cada banda contém um espectro de cores, sendo que cada qual apresenta uma função adequada para diferentes trabalhos.

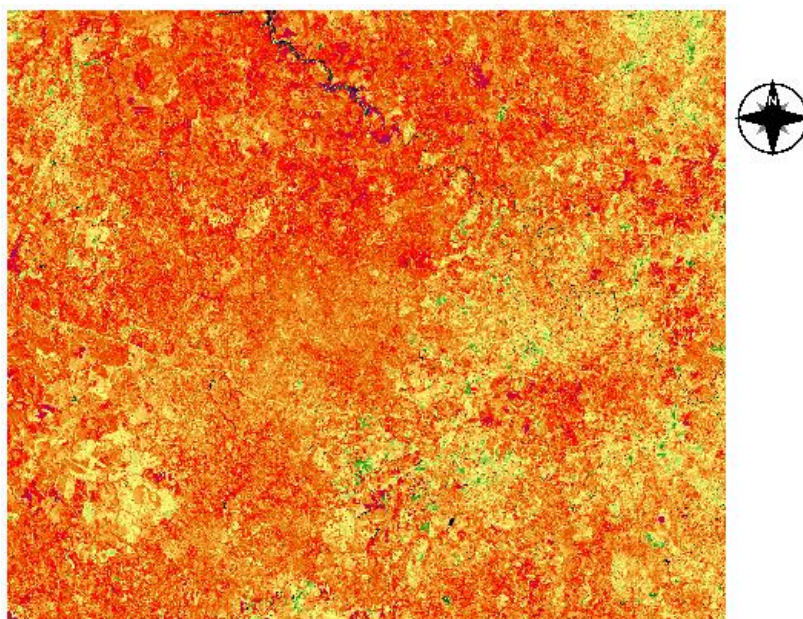
A banda TM - 6 (10,4 - 12,5 μm) correspondente à região do verde, que apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água (Figura 6).

Figura 6 - Banda TM 6 do sensor *OLI* do LANDSAT – 8.



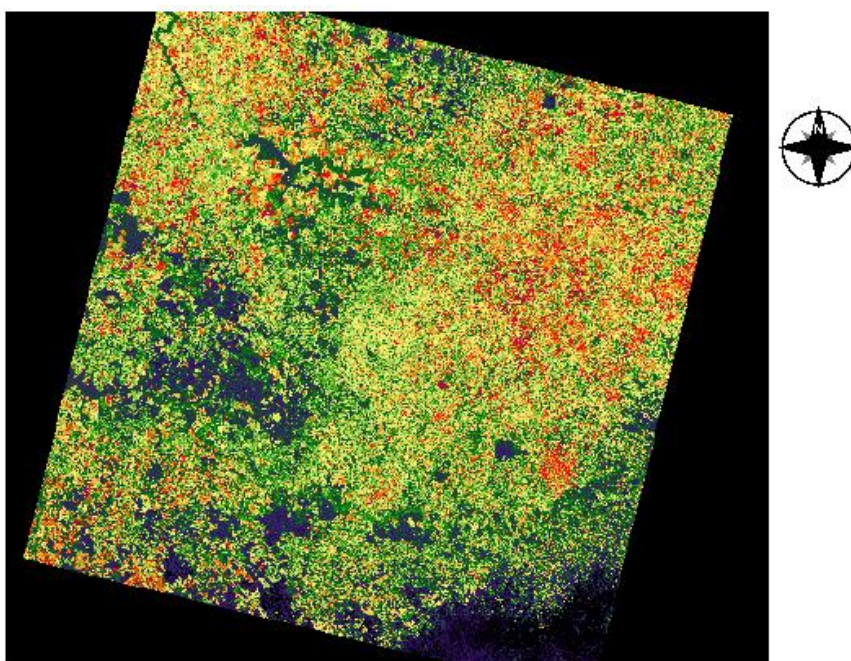
A banda TM - 5 ($1,55 - 1,75 \mu\text{m}$) correspondente ao infravermelho médio, apresentando sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite (Figura 7).

Figura 7 - Banda TM 5 do sensor *OLI* do LANDSAT – 8.



Já a banda TM - 4 (0,76 - 0,90 μm) tem um espectro de cores menores e apresenta muito bem os corpos de água, pelo fato de absorverem muita energia nesta banda e ficarem escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas. Essa banda é ideal nos mapeamentos ambientais e agrícolas (Figura 8).

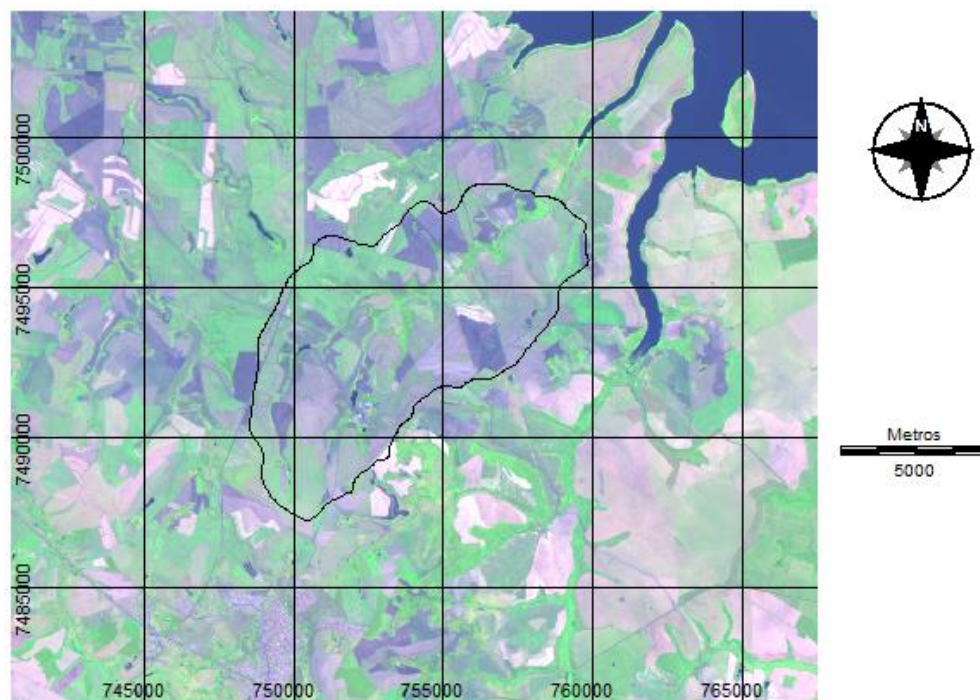
Figura 8 - Banda TM 4 do sensor *OLI* do LANDSAT – 8.



Com a utilização de 3 bandas, neste caso, as bandas termais 6, 5 e 4, e por meio da ferramenta *COMPOSITE* realizou-se a composição das bandas.

Na Figura 9 visualiza-se a composição dessas bandas já evidenciando a área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP) na qual foi efetuado um recorte na imagem de satélite por meio da ferramenta *WINDOW*.

Figura 9 - Imagem de satélite do sensor *OLI* do *LANDSAT – 8*, na bacia hidrográfica do rio Araquazinho– São Manuel, SP.



4.1.4 Equipamentos

O processamento dos dados foi realizado em um microcomputador Processador Intel Inside CORE i7, 1,80 GHz, com sistema operacional de 64 bits, HD 1TB, 8GB de memória RAM.

4.1.5 Aplicativos

O *software* de desenho – CAD CartaLinx – foi utilizado no processo de definição e delimitação da hidrografia, APPs e uso e ocupação do solo, *software* este escolhido pelo fato de se comunicar bem com o SIG- Idrisi Selva, facilitando o processo de trabalho.

O *software* SIG - Idrisi Selva foi utilizado no processamento das informações georreferenciadas e na classificação em tela do uso da terra na imagem de satélite, além da conversão dos dados vetoriais em raster e o seu processamento.

O *software* SIG - QGIS Desktop 2.8.3 foi utilizado no processamento das imagens utilizadas como fatores e na geração dos pesos dos processos, além da análise multicriterial.

O *software* SIG - SAGA 6.2.0 foi utilizado no processamento de arquivos em formato vetorial e matricial (produção dos mapas de distância), sendo necessário na padronização dos pesos (0 a 1), para que posteriormente os cruzamentos dos mapas pudessem ser realizados.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Banco de dados da área de estudo

No processo inicial do estudo, levantou-se todas as informações a respeito da área, como limite, rede de drenagem, curvas de nível e outros parâmetros morfométricos da bacia, construiu-se um banco de dados dos arquivos da área de estudo.

Para que todos os mapas iniciais (limite, rede de drenagem, curvas de nível) pudessem ser trabalhados, foi necessário com que estivessem digitalizados e posteriormente foram georreferenciados no Sistema de Informação Geográfica SIG – Idrisi- Selva.

4.2.2 Georreferenciamento da carta planialtimétrica, delimitação da bacia hidrográfica e vetorização dos elementos

Para o georreferenciamento foi utilizado o sistema de coordenadas planas, projeção UTM, datum SIRGAS 2000, bem como dois arquivos, com os vários pontos de controle, sendo o primeiro da imagem digital e o outro, da carta topográfica de São Manuel e de Barra Bonita, ambas em escalas de 1:50.000, editadas pelo IBGE.

A delimitação da área foi realizada via tela do computador através do módulo de digitalização (*digitize*) no SIG - Idrisi Selva. Para tanto, utilizou-se as cartas planialtimétricas que foram utilizadas para o processo de georreferenciamento. Para esta etapa de delimitar a bacia hidrográfica do rio Araquazinho tomou-se como base os pontos mais elevados em torno da rede de drenagem conforme definição de Rocha (1991). Na sequência, as cartas já georreferenciadas foram exportadas para o *software* CartaLinux.

As redes de drenagem que compõem a área de estudo também foram vetorizadas.

Todos esses arquivos foram exportados para o SIG - Idrisi Selva para serem usados nas etapas seguintes. Nas Figuras 10 e 11, pode-se visualizar a rede de drenagem e a planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP).

Figura 10 - Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho –
São Manuel, SP.

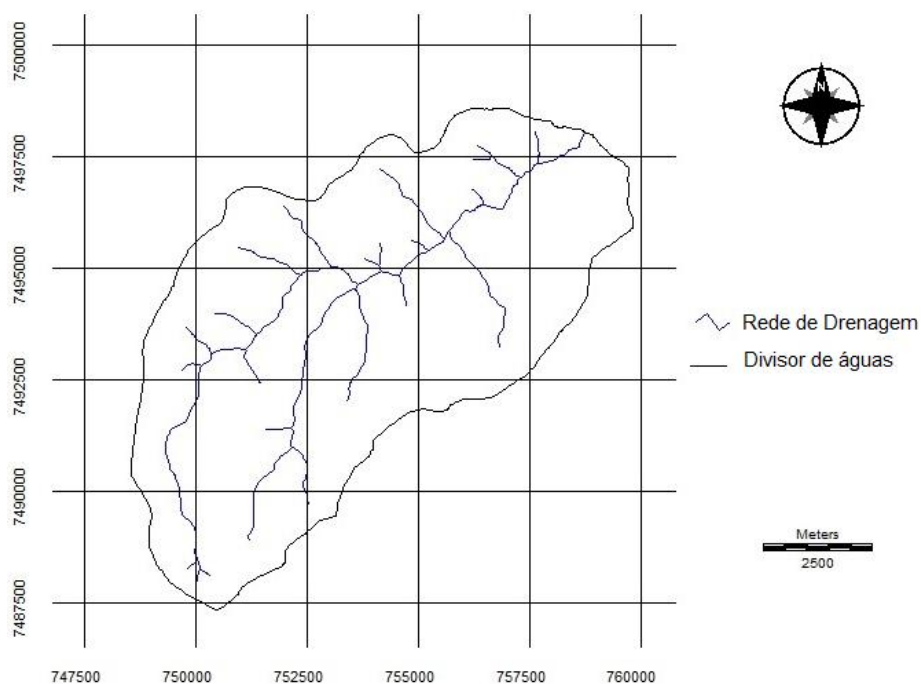
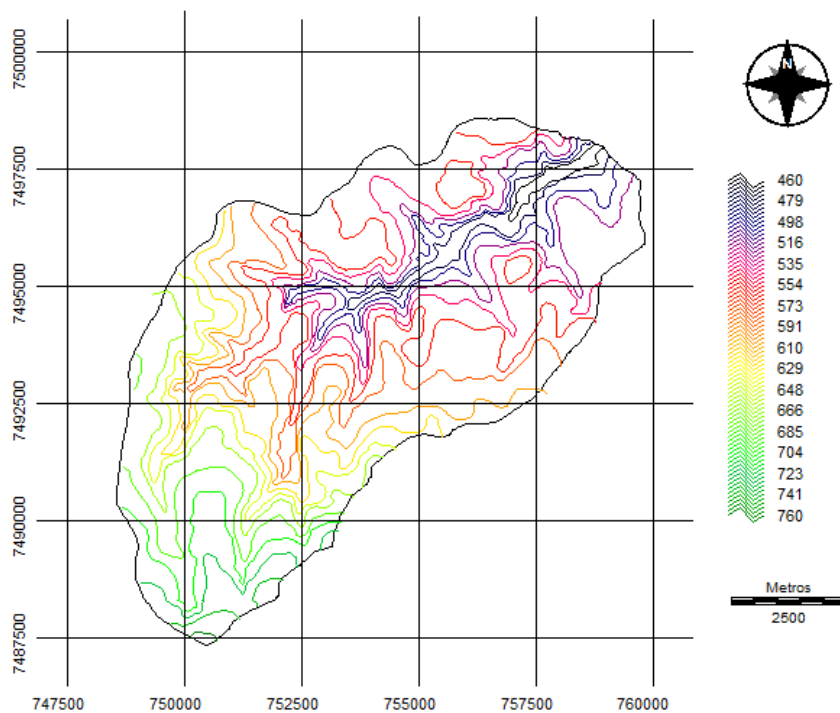


Figura 11 - Planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Araquazinho –
São Manuel, SP.



4.2.3 Obtenção do mapa de uso das terras em imagem de satélite

O mapa de uso de solo foi elaborado utilizando-se a imagem do satélite Landsat 8, com passagem de 2016, sensor OLI (*Operational Land Imager*), da órbita 220, ponto 76, quadrante A, realizando uma classificação em tela, criando polígonos para cada ocupação do terreno. Para que essas informações fossem levantadas, utilizou-se também imagens do Google Earth para esclarecer dúvidas que surgiram durante a classificação.

Após o georreferenciamento, foi feito o recorte, extraíndo-se apenas a área da bacia hidrográfica do rio Araquazinho.

Os usos do solo foram classificados por interpretação visual da imagem orbital e foram delimitados no *software* de desenho CAD CartaLinx, sendo feito uma vetorização em tela, na qual os polígonos de uso e ocupação foram classificados sobre a composição colorida, sendo ampliadas para uma melhor visualização dos elementos da cobertura vegetal, identificadas por interpretação visual na imagem.

Para esse processo, realizou-se a poligonização de cada uso do solo, sendo que ao término do desenho de cada polígono, atribui-se um polígono *locator*, ferramenta esta que possibilitou a identificação, inserindo-se códigos correspondentes às classes de uso (Cana-de-açúcar = 1, Vegetação Natural = 2, Represa= 3, Agroindústria= 4, Pastagem= 5, Várzea= 6, Aeroporto= 7, Tanque de vinhaça= 8, Café = 9 e Eucalipto = 10).

Em seguida, o arquivo gerado em vetor (.vct) foi exportado para o SIG- Idrisi Selva e convertido em imagem raster (.rst), que representa uma matriz digital de linha e colunas.

As áreas de cada uso e ocupação foram quantificadas, utilizando o comando *Area* do menu *Database Query*, pertencente ao módulo *Analysis* e também, determinou-se as porcentagens de cada classe. Em seguida, foram indicados os nomes para cada classe de uso da terra, associados aos seus respectivos usos.

4.2.4 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

Por meio da ferramenta de análise de proximidade denominada *buffer*, definiram-se as APPs marginais aos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia hidrográfica do rio Araquazinho. Um *buffer* foi de 50m de raio nas áreas das nascentes e o outro, de 30m de cada lado da drenagem ao longo do leito regular do

rio. Na sequência, juntou-se os dois *buffers* e como resultado obteve-se o mapa da simulação das APPs.

4.2.5 Obtenção do mapa de solos da bacia

O mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Araquazinho foi obtido a partir do mapa pedológico do estado de São Paulo em escala 1:50000 (OLIVEIRA, 1999). A partir deste mapa, foi realizada a escanerização da área e importada para o SIG - Idrisi Selva pelo módulo *File/Import*.

No *software* CartaLinx, as diferentes classes de solo foram digitalizadas e indicados os nomes de cada área, associados aos seus respectivos identificadores. Depois, exportadas para o SIG - Idrisi Selva onde através do comando *Area* do menu *Database Query* pertencente ao módulo *Analysis* determinou as áreas e porcentagens de cada classe de solo.

4.2.6 Obtenção da carta clinográfica (declividade)

Com o arquivo vetorial contendo as curvas de nível realizou-se a interpolação das curvas no SIG - Idrisi Selva utilizando a metodologia TIN (*Triangular Irregular Network*) no módulo *TIN interpolation*.

O cálculo da declividade foi realizado segundo a recomendação pela Soil Survey Staff (1975), conforme indicado no Quadro 3.

Quadro 3 - Intervalos de classes de declive para conservação de solos

Intervalo (%)	Relevo	Cor característica
0 a 3	Plano	Verde claro
3 a 6	Suave ondulado	Amarelo
6 a 12	Ondulado	Vermelho
12 a 20	Forte ondulado	Azul
20 a 40	Montanhoso	Verde escuro
> 40	Escarpado	Roxo

4.2.7 Elaboração do mapa de capacidade de uso

Para a classificação, seguiu-se os critérios constantes na Tabela de julgamento confeccionado conforme França (1963) e Lepsch et al. (1991) e, de acordo com adaptação regional compilada por Zimback e Rodrigues (1993). Na Tabela 1, relaciona-se uma classe de capacidade de uso para cada critério do parâmetro de limitação em questão.

Tabela 1 - Tabela de julgamento das classes de capacidade de uso das terras.

Classes de Capacidade de Uso										Classes de Capacidade de Uso									
Limitação	Critérios	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Limitação	Critérios	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
FA	Muito alta	x								PD	Excessiva		x						
	Alta	x									Boa	x							
	Média		X								Moderada		x						
	Baixa			x							Pobre			x					
	Muito baixa						x				Muito pobre					x			
PE	>200 cm	x								Def.	Muito rápido				x				
	100 - 200cm	x									Rápido			x					
	50 - 100cm		X								Moderado		x						
	25 - 50cm				X						Lento	x							
	<50cm						x				Muito lento		x						
Ped.	Sem pedras	x								Dec.	0 a 3%	x							
	<1%		x								3 a 6%		x						
	1 - 10%			x							6 a 12%			x					
	10 - 30%				X						12 a 20%				x				
	30 - 50%						x				20 a 40%						x		
	>50%							x			>40%							x	
EL	Não aparente	x								R.I.	Sem risco	x							
	Ligeira		x								Ocasional			x					
	Moderada			x							Freqüente					x			
	Severa						x				Muito freq.								X
	Muito severa							x			...								
	Extrem. Sev.								x		...								
	Não aparente	x									Não aparente	X							
ESR	Ocasionais		x							ESM	Ocasionais			x					
	Freqüentes			x							Freqüentes				x				
	Muito freq.				X						Muito freq.						x		
	Não aparente	x									Não aparente	X							
ESP	Ocasionais				X					V	Ocasionais						x		
	Frequentes						x				Frequentes							x	
	Muito freq.							x			Muito freq.								X

F.A. = Fertilidade aparente; P.E. = Profundidade efetiva; P.D. = Permeabilidade e drenagem; Def. = Deflúvio; Ped. = Pedregosidade; R.I. = Risco de inundação; Dec. = declividade; E.I. = Erosão laminar; E.S.R. = Erosão em sulcos rasos; E.S.M. = Erosão em sulcos médios; E.S.P. = Erosão em sulcos profundos; e, V = Erosão em voçorocas.

A declividade participa diretamente na intensidade do escoamento superficial (deflúvio). Os valores atribuídos aos dois fatores estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Atribuição de notas para os dois fatores contribuintes para a classificação do parâmetro “deflúvio”, de acordo com o SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018)

Tipo de solo	Contribuição	Declividade	Contribuição
NVdf	1	0 - 3%	1
(LVdf), LVAd2	2	3 - 6%	2
LVd, LVAd1, RUbd,RQo	3	6 - 12%	3
PVAd1	4	12 - 20%	4
PVAd2, Rle	5	20 - 40%	5
GXbd	6	>40%	6

NVdf = Nitossolo vermelho distroférico, LVdf = Latossolo distroférico, LVAd2 = Latossolo vermelho amarelo distroférico textura argilosa, LVd = Latossolo vermelho distrófico, LVAd1 = Latossolo vermelho amarelo distrófico textura média, RUbd = Neossolo Flúvico Tb distrófico, RQo = Neossolo Quartzarênico órtico típico, PVAd1 = Argissolo vermelho amarelo distrófico textura média/arenosa, PVAd2 = Argissolo vermelho amarelo distrófico abrupto, Rle = Neossolo litólico eutrófico e GXbd = Gleissolo háplico Tb distrófico.

A somatória da combinação destes dois fatores forneceu os intervalos de acordo com o Tabela 3.

Tabela 3 - Intervalos para enquadramento dos critérios de deflúvio.

Intervalo	Critério de deflúvio	Classe
2 a 3	Muito lento	II
4 a 5	Lento	I
6 a 7	Moderado	II
8 a 9	Rápido	III
10 a 11	Muito rápido	IV

Para a avaliação dos parâmetros constantes da Tabela 3, foram considerados os seguintes critérios:

a) Fertilidade aparente: baseada nos valores de pH, V% (teor de saturação por bases), CTC (capacidade de troca catiônica) e matéria orgânica.

b) O parâmetro profundidade efetiva foi determinado para cada tipo de solo segundo a descrição morfológica de cada solo, constante o levantamento de solos realizado por Zimback e Rodrigues (1993).

c) A permeabilidade e drenagem interna foi a partir das propriedades físicas de cada tipo de solo.

d) O parâmetro deflúvio foi analisado em função de dois fatores principais que interferem na sua intensidade: infiltração e declividade para cada tipo de solo.

e) O parâmetro pedregosidade foi determinado para cada tipo de solo segundo a descrição morfológica de cada solo, constante o levantamento de solos realizado por Zimback e Rodrigues (1993).

f) A partir de observações de campo realizadas por Zimback e Rodrigues (1993), determinou-se o risco de inundação.

g) A declividade do terreno indica a classe de capacidade de uso pela própria classe em que se encontra a área.

h) Os tipos de erosão encontrados em cada solo tiveram os critérios de limitação definidos a partir de observações de campo.

As subclasses, foram determinadas de acordo com o Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH et al., 1991), conforme descreve-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Limitações de uso para definição das subclasses.

Limitações de Uso			
E	S	a	C
-declive acentuado	-pouca profundidade	-lençol freático elevado	-seca prolongada
-declive longo	-textura arenosa em todo o perfil	-risco de inundação	-ventos frios
-mudança textural abrupta	-pedregosidade	-subsidência em solo orgânicos	-granizo
-erosão laminar	-argilas expansivas	-deficiência em solos orgânicos	-neve
-erosão em voçorocas	-baixa saturação por bases	-deficiência de oxigênio no solo	
-erosão eólica	-toxicidade por alumínio		
-depósitos de erosão	-baixa capacidade de troca		
-permeabilidade baixa	-ácidos sulfatados ou sulfetos		
-horizonte A arenoso	-alta saturação com sódio		
	-excesso de sais solúveis		
	-excesso de carbonatos		

Definidas as classes de capacidade, reclassificou-se os pixels, agrupando-se em um mesmo identificador para cada classe.

Foram definidas então as cores correspondentes a cada classe, sugeridas por Lepsch et al. (1991), apresentadas na Tabela 5, para visualização do mapa final.

Tabela 5 - Cores características para representação de classes de capacidade de uso.

Classe	Cor Característica
I	Verde claro
II	Amarelo
III	Vermelho
IV	Azul
V	Verde escuro
VI	Alaranjado
VII	Marrom
VIII	Roxo

4.2.8 Regra de decisão

Os critérios utilizados forma a proximidade quanto à localização das nascentes e córregos, proximidade quanto aos processos erosivos acelerados, proximidade dos fragmentos florestais existentes e as áreas de maior declividade do terreno. Entende-se que estes fatores serão fundamentais para a conservação dos recursos naturais da área.

4.2.9 Fatores

Os fatores foram definidos a partir do objetivo da análise, ou seja, a recomposição florestal e conservação de recursos naturais. Os fatores gerados apresentaram uma escala contínua, variando de 0 (zero) a 255 (duzentos e cinquenta e cinco), totalizando 256 valores, sendo o zero o valor de menor importância e o 255 o de maior importância.

Após isto, foi selecionado o arquivo das restrições, ou seja, as áreas em que a análise foi mascarada, pelo fato de não poder haver recomposição florestal, por serem áreas compostas de áreas urbanizadas ou mesmo áreas já vegetadas.

Em sequência, foram gerados os fatores (Proximidade à rede hidrográfica; Proximidade aos fragmentos florestais; Erodibilidade do solo; Uso e ocupação dos solos e Declividade) que integraram a análise, cada um com um peso, compondo, segundo os critérios, as áreas prioritárias para a conquista do objetivo.

Em algumas situações, os fatores foram simétricos, já em outras situações, a contribuição foi linear crescente, aumentando de acordo com a distância, sendo necessária assim a padronização (normalização) dos fatores.

4.2.10 Normalização dos fatores

A normalização dos fatores foi realizada no *software* SIG- SAGA 6.2.0., sendo utilizada a lógica *fuzzy* - para a padronização dos dados com o objetivo de realizar a álgebra de mapas, deixando os mapas com intervalo constante e padrão, de 0 e 1, que leva em consideração o grau de vulnerabilidade da área, visando o grau de prioridade na área, e para que posteriormente na análise multicriterial, os mapas pudessem se comunicar, gerando resultados confiáveis.

4.2.10.1 Proximidade das nascentes

O peso dado durante o estudo das nascentes foi de maior importância, devido a seu enorme peso na conservação dos recursos hídricos e abastecimento de toda a rede de drenagem seja superficial ou subterrânea.

4.2.10.2 Proximidade da rede de drenagem

Pode-se afirmar que quanto maior a proximidade à rede de drenagem maior será sua importância devido as Áreas de Preservação Permanente (APPs), que são mata ciliar que acompanham toda a rede de drenagem, protegendo de forma direta os mananciais, sendo áreas prioritárias, sendo estes o segundo fator na ordem de importância da análise deste trabalho.

4.2.10.3 Proximidade de processos erosivos

Processo que causa a modificação da cobertura da bacia, a partir da retirada de sua proteção natural, desprotegendo o solo, que em períodos chuvosos fica susceptível a ocorrência de erosão superficial ou em profundidade (subsuperficial). Assim, este foi o fator colocado em terceiro lugar, sendo que quanto mais próximo a uma erosão, maior conservação deve-se ter.

4.2.10.4 Declividade

A declividade é um fator muito importante, devendo haver recomposição florestal em áreas muito declivosas, para diminuir a velocidade da água.

Assim, o fator declividade, ficou em quarto lugar nesse estudo.

4.2.10.5 Proximidade da cobertura florestal

O fator proximidade da cobertura vegetal se faz importante para que se direcione áreas para formação de possíveis corredores ecológicos, unindo assim os fragmentos da bacia hidrográfica.

4.2.11 Restrições

As restrições foram utilizadas para indicar possíveis áreas aonde não possam ser alteradas, sendo assim fatores limitantes à recomposição florestal.

As restrições são determinadas como zero (0) e um (1), sendo que quando aparece o número um (1), essa área deve ser excluída.

Essas áreas são aquelas que apresentam construções, sejam urbanas ou rurais, áreas com vegetação nativa consolidada serão tratadas como restrições.

4.2.12 Pesos dos fatores

Os pesos dos fatores foram preconizados de acordo com o proposto por Saaty (1987) no contexto do Processo Hierárquico Analítico, baseando-se na matriz de comparação pareada entre os fatores (EASTMAN, 2001).

4.2.13 Matriz de comparação pareada

Na composição da matriz de comparação, os fatores foram comparados dois a dois, utilizando como referência a escala contínua de pontos (Figura 12) e classificados segundo a importância relativa entre eles.

Figura 12 - Escala contínua utilizada na Matriz de Comparação Pareada para geração dos pesos de cada fator na Análise Multicriterial.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema- mente	Muito	Forte- mente	Modera- damente	Igualmente	Modera- damente	Forte- mente	Muito	Extrema- mente
← Menos importante					Mais importante →			

4.2.14 Análise multicriterial

4.2.14.1 Combinação Linear Ponderada (CLP)

A Combinação Linear Ponderada (CLP) baseia-se no conceito de média ponderada. O avaliador analisa diretamente, com base em conhecimentos teóricos a respeito da conservação ambiental, os pesos de "importância relativa" a cada mapa de atributo. Uma pontuação (escore) total é então obtida para cada alternativa, multiplicando-se o peso de importância assinalado para cada atributo pelo valor escalar dado à alternativa sobre aquele atributo e somando-se os produtos de todos os atributos. Quando os escores totais são calculados para todas as alternativas, a alternativa com o escore geral mais alto é escolhida.

Esse método pode ser operacionalizado usando-se qualquer SIG que possua capacidade de sobreposição (*overlay*).

4.2.15 Divulgação dos resultados obtidos

Como etapa final desta pesquisa, foram realizadas palestras e informativos junto à Casa da Agricultura, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Sindicato

Rural dos produtores de São Manuel e para os órgãos públicos competentes, com o intuito de conscientizar e informar as áreas prioritárias.

Para a escolha dos locais de realização da divulgação, foi levado em consideração o grau social de importância para transmissão das informações obtidas neste trabalho.

O programa “Jovem Agricultor do Futuro” patrocinado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) foi o escolhido para ser proferida palestra a respeito do trabalho, por envolver jovens de 15 a 17 anos ligados com o meio rural, pois o projeto possui em sua base curricular, os mais diversos temas da agricultura, conservação e manejo sustentável do ambiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Uso e ocupação do solo

No município de São Manuel, desde sua fundação em 1870, sempre houve um aproveitamento agrícola, sendo que sua economia foi baseada na agricultura, principalmente a cultura de café (IBGE, 2016).

De acordo com os dados obtidos neste trabalho, a partir da análise do mapa de uso e ocupação do solo, a agricultura é predominante na bacia hidrográfica.

Devido ao grande aproveitamento agrícola, ao clima e topografia favoráveis, as áreas de vegetação natural apresentam-se apenas em vestígios da cobertura vegetal original, cedendo lugar para as principais culturas, como a da cana-de-açúcar, que ocupa 87,37% da área estudada.

Por meio da composição das bandas 6, 5 e 4 em RGB obtidas a partir da imagem de satélite digital, foi possível discriminar, mapear e quantificar 9 feições na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP) por meio da classificação digital em tela (verdade terrestre) (Figura 13 e Tabela 6), que mostra a realidade do uso da área.

Figura 13 - Uso e ocupação do solo da bacia do rio Araquazinho – São Manuel (SP) obtida pela imagem de satélite de 2016.

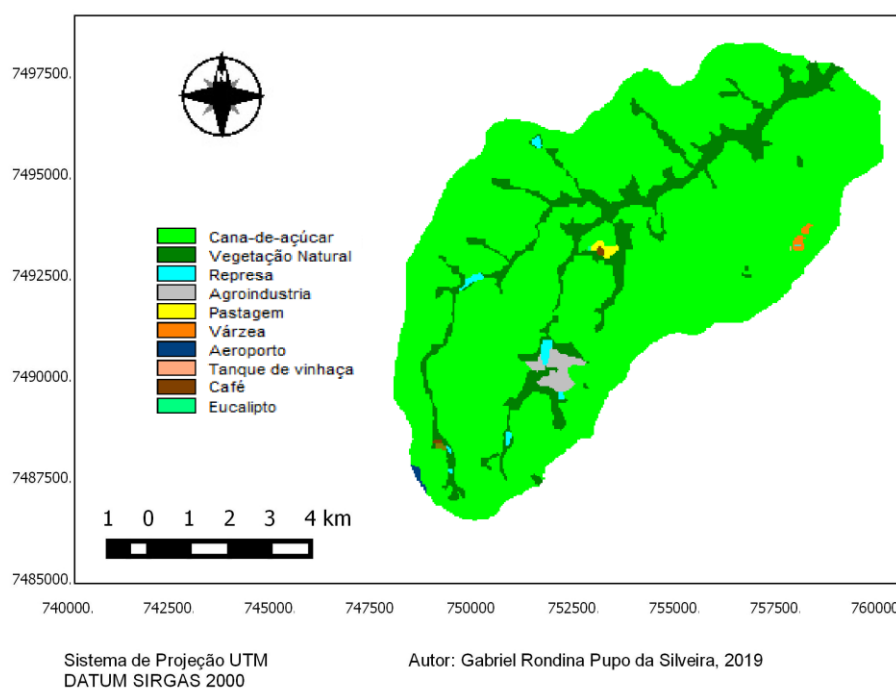


Tabela 6 - Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP.

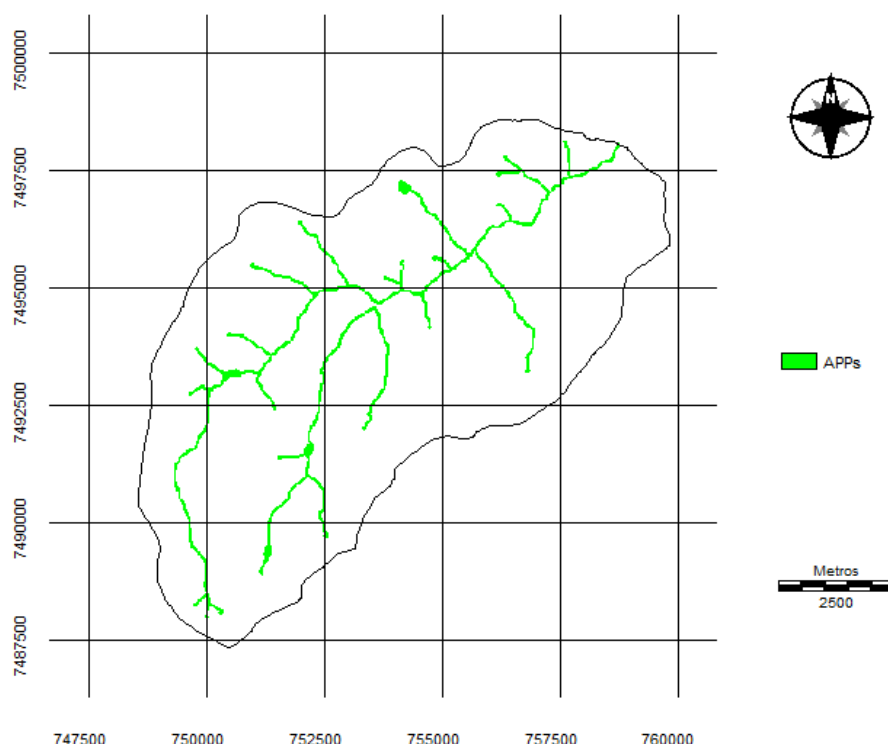
Uso do solo	2016	
	Imagem de satélite	
	Hectares	%
Cana-de-açúcar	5852,02	87,37
Vegetação natural	720,21	10,75
Represa	27,83	0,42
Agroindústria	62,44	0,93
Pastagem	11,44	0,17
Várzea	10,22	0,15
Café	6,67	0,10
Aeroporto	6,14	0,09
Tanque de Vinhaça	0,41	0,01
Eucalipto	0,74	0,01
TOTAL	6698,12	100

Por meio da análise do uso do solo (Figura 13 e Tabela 7) evidenciou-se que a cana-de-açúcar é a cultura que ocupa a maior parte da área, representando 87,37% (5852,02 ha), sendo o restante da bacia (846,1 ha ou 12,63%) ocupada por vegetação natural (10,75%), represa, também denominada corpos de água artificiais (0,42%), agroindústria (0,93%), pastagem (0,17%), várzea (0,15%), aeroporto (0,09%), tanque de vinhaça (0,01%), terreiro de café, que é uma área totalmente impermeável, (0,05%), eucalipto (0,01%) e plantações de café (0,05%). Conforme o código florestal, a várzea pode ser destinada para Reserva Legal e APPs, como a vegetação natural. Assim, na área em questão, os usos várzea e vegetação natural ocupam 730,43 ha (10,91%) do total da bacia hidrográfica.

5.2 Conflito de Uso

Por meio da delimitação da rede de drenagem foi possível estabelecer as APPs, utilizando a ferramenta *buffer* do SIG Idrisi- Selva, sendo quantificar essa área, que corresponde a 303,22 ha (4,53%) de toda a área da bacia (Figura 14), sendo que deste total de APPs, 11,09ha (3,66%) correspondem a nascentes e 292,13ha (96,34%) a cursos d'água.

Figura 14. Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água e ao redor das nascentes da bacia.



Com o mapa de simulação de APPs apresentando a metragem correta de acordo com a legislação ambiental vigente, cruzou-se o mapa de APP (Figura 14), com o mapa de uso e ocupação do solo (Figura 13), para verificar os usos incorretos nessas áreas, resultando assim no mapa de simulação de conflito de uso em APPs (Figura 15).

A partir desse cruzamento de informações, pode-se verificar os usos irregulares presente nas APP. De acordo com o código florestal brasileira, nessas margens de rios, deve-se apresentar apenas vegetação natural, alagados, ou seja, áreas naturais, sendo que qualquer uso diferente desses, é considerado conflito de uso.

Figura 15 - Uso e ocupação do solo em APPs na bacia do rio Araquazinho – São Manuel, SP.

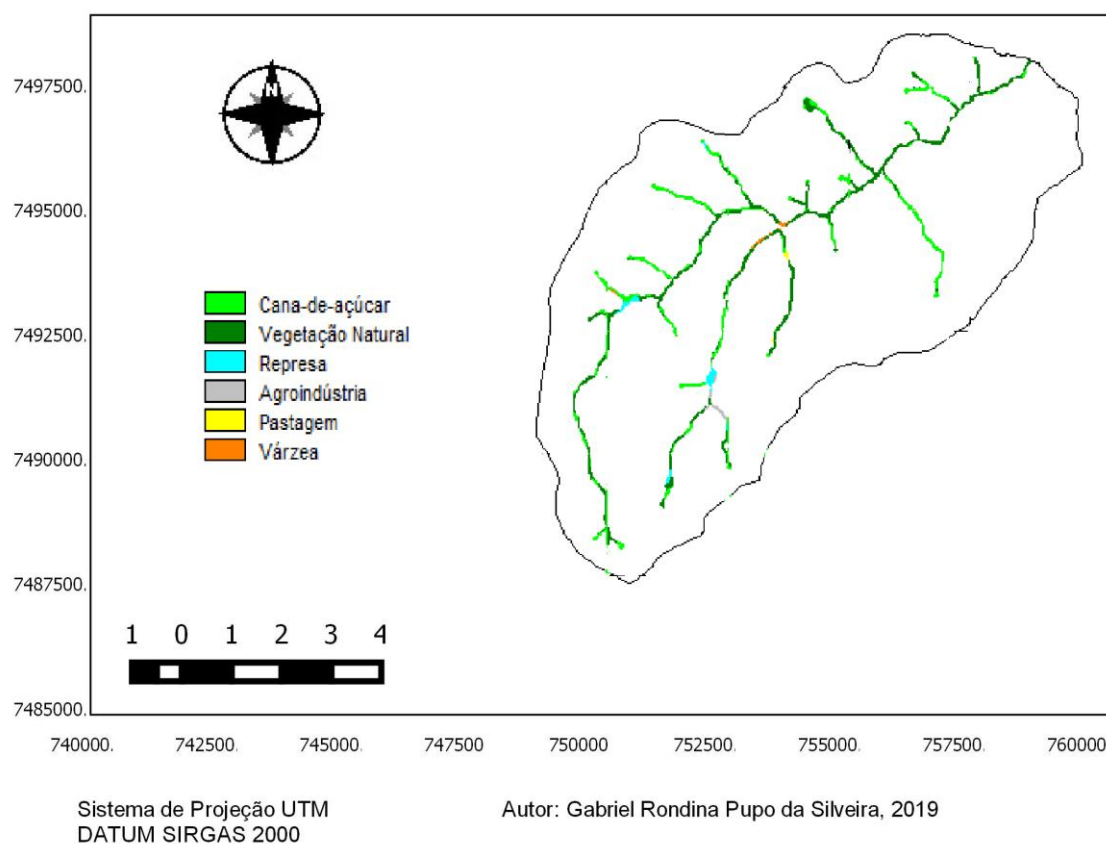


Tabela 7 - Uso do solo nas APPs da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel, SP, na imagem de satélite.

Uso do solo	Uso do solo em APPs		Conflito de uso em APPs	
	ha	%	ha	%
Cana-de-açúcar	103,33	33,75	103,33	93,34
Vegetação natural	175,13	57,76	-	-
Represa	14,14	4,66	-	-
Agroindústria	5,78	1,91	5,78	5,22
Pastagem	1,59	0,53	1,59	1,43
Várzea	4,25	1,40	-	-
TOTAL	303,22	100	110,70	100

Conforme a Figura 15 e Tabela 7, percebe-se que uma boa parte das Áreas de Preservação Permanentes (110,70 ha) está sendo utilizada para outros fins e não

para preservação ambiental. Do total de APPs, 33,75% está sendo utilizado com cana-de-açúcar, 1,91 % com agroindústria e 0,53% com pastagem.

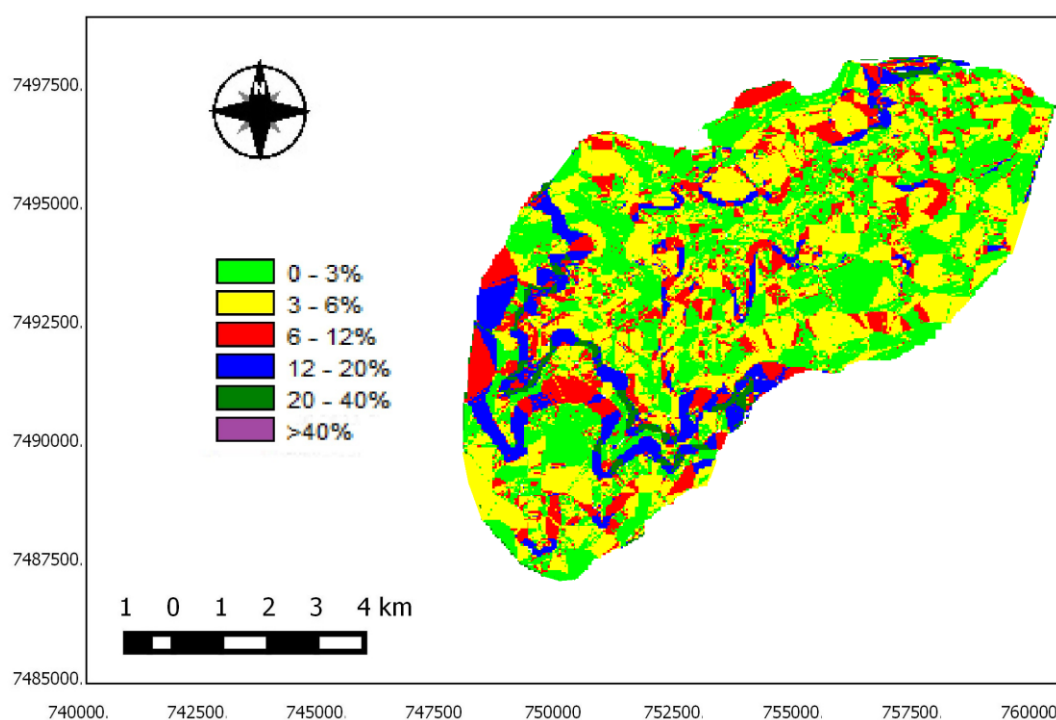
Do restante da área, 57,76% vem sendo preservada com vegetação natural, 4,66% com represa e 1,40% com várzea.

O uso da agricultura no local mostra a qualidade agrícola da área para tal uso, pelo fato das plantações agrícolas estarem inseridas em locais com topografia plana, e bons solos, ou seja, favoráveis para a cultura, porém muitas vezes, não respeitando a legislação ambiental, em alguns casos, por desconhecimento dos próprios agricultores.

5.3 Classes de declive

A interpolação das curvas de nível a partir da classificação da Soil Survey Staff (1975) resultou no mapa de classes de declive ou carta clinográfica (Figura 16 e Tabela 8).

Figura 16 - Carta clinográfica da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP).



Sistema de Projeção UTM
DATUM SIRGAS 2000

Autor: Gabriel Rondina Pupo da Silveira, 2019

Tabela 8 - Classes de declive ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP).

Classes de Declividade	Área	
	ha	%
0 a 3%	2411,20	36,00
3 a 6%	2321,15	34,65
6 a 12%	1139,29	17,01
12 a 20%	623,43	9,31
20 a 40%	203,04	3,03
TOTAL	6698,12	100

A análise (Figura 16 e Tabela 8) permitiu inferir que as classes de declive de 0 a 3% (áreas planas), de 3 a 6% (suavemente ondulada) e de 6 a 12% (ondulado) que ocorrem da bacia hidrográfica do rio Araquazinho representam 87,66% da área (CHIARINI; DONZELLI, 1973).

O relevo forte ondulado (declive de 12 a 20%) é indicado para a uso com culturas perenes em que o enraizamento mais profundo, proporcionam proteção ao solo, apresenta 9,31% (623,43 ha) da área da bacia, enquanto que o relevo acidentado (declive de 20 a 40%), indicado para o desenvolvimento da pecuária e da silvicultura, predominou em apenas 3,03% (203,04 ha).

Portanto, pode-se afirmar que a bacia não apresentou declividade com mais de 40%.

A bacia hidrográfica do rio Araquazinho apresenta elevado potencial agricultável (96,97%) propício para o cultivo com culturas anuais e permanentes, ou seja, com declividade variando de 0 a 20%.

5.4 Unidades de solo

A bacia hidrográfica é predominantemente constituída de solos de alta fertilidade, ou seja, pelo LVA 52 (LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos + LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos + ARGISSOLOS VERMELHO AMARELOS Distróficos) com 4,38% (293,61 ha), LV1 (LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos) com 90,38% (6053,55 ha) e LVA 36 (LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos + LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos) com 5,24% (350,95 ha) (Figura 17 e Tabela 9).

De acordo com Oliveira (1999), os LATOSSOLOS são definidos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais de 150 cm de espessura.

Dentro das principais subordens registradas, destacam-se os LATOSSOLOS AMARELOS: solos com matiz mais amarelo que 5 YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) e os LATOSSOLOS VERMELHOAMARELOS: que são solos com matiz 5 YR ou mais vermelhos ou mais amarelos que 2,5 YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Atributos principais: Os LATOSSOLOS são, em geral, solos com boas propriedades físicas e situados, na maioria dos casos, em relevo favorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas, exceção daqueles situados nas regiões serranas. Apresentam excepcional porosidade total sendo comuns valores de 50-60%. São solos com boa drenagem interna, mesmo em textura argilosa.

Os LATOSSOLOS Férricos devido ao elevado teor em óxidos de ferro, apresentam expressiva capacidade de adsorção de fósforo. Tal fato, pode ser de importância na planificação de emprego de insumos em áreas porventura ainda não agricultadas.

Nos LATOSSOLOS de textura média, o teor relativamente elevado de areias, confere-lhes uma geometria de poros onde os macroporos são preponderantes. Nesta situação, e devido à ausência de impedimentos internos, a permeabilidade da água através do solo é rápida. A elevada quantidade de areias determina também uma retenção de água relativamente baixa, sendo solos que secam rapidamente após chuva ou irrigação; assim, nos períodos de veranico, apresentam maior possibilidade de estresse hídrico do que solos de textura menos grosseira.

Devido à sua elevada permeabilidade interna e à baixa capacidade adsorptiva, esses solos se qualificam como pouco filtrantes. Tal atributo permite esperar que, apesar de sua espessura, sejam grandes as possibilidades de contaminação dos aquíferos por material tóxico neles depositado.

Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS argissólicos apresentam em geral relação textural ligeiramente superior aos LATOSSOLOS típicos, fato que lhes confere uma erodibilidade um pouco maior.

A baixa atividade das argilas dos LATOSSOLOS confere-lhes diminuta expansibilidade e contratibilidade qualificando, os de textura argilosa, como excelente material para piso de estradas. Por serem solos fáceis de serem escavados e ainda bastante profundos e porosos.

Ainda segundo Oliveira (1999), quanto à interpretação química das unidades de solos, tem-se:

- álico: quando a saturação por alumínio é maior ou igual a 50% na maior parte dos 100 cm iniciais do horizonte B.
- distrófico: solos que apresentam saturação por bases inferior a 50% na maior parte dos 100 cm iniciais do horizonte B.
- distróférico: termo utilizado para designar LATOSSOLOS VERMELHOS e NITOSSOLOS VERMELHOS, que apresentam teor de Fe_2O_3 respectivamente superior a 18% e 15% e saturação por bases na maior parte do horizonte B inferior a 50%.
- eutrófico: solos que apresentam saturação por bases superior a 50%.
- eutróférico: termo utilizado para designar LATOSSOLOS VERMELHOS e NITOSSOLOS VERMELHOS, que apresentam teor de Fe_2O_3 respectivamente superior a 18% e 15% e saturação por bases na maior parte do horizonte B superior a 50%.

Figura 17 - Distribuição das classes de solo encontradas da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP).

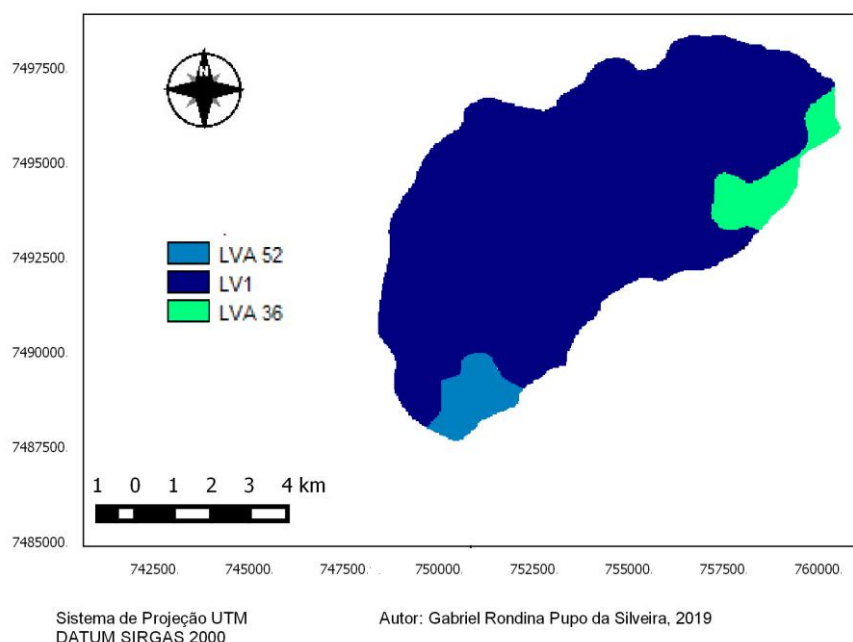


Tabela 9 - Unidades de solo ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP), obtidas pelo SIG – Idrisi Selva.

Tipo de Solo	Área	
	ha	%
LVA 52	293,61	4,38
LV1	6053,55	90,38
LVA 36	350,95	5,24
TOTAL	6698,12	100

Conforme pode ser observado na Figura 17 e na Tabela 9, a classe de solo que apresenta maior percentual de cobertura é a do LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos (LV1), correspondendo a 90,38% da área total da bacia hidrográfica.

5.5 Levantamento das classes de capacidade de uso

Com base nos resultados do levantamento de solos e das classes de declive, passou-se à execução do levantamento das classes de capacidade de uso da terra bacia hidrográfica do rio Araquazinho.

Os parâmetros foram avaliados através da tabela de julgamento até se obter a classe de capacidade de uso da terra, conforme observado na Tabela 10.

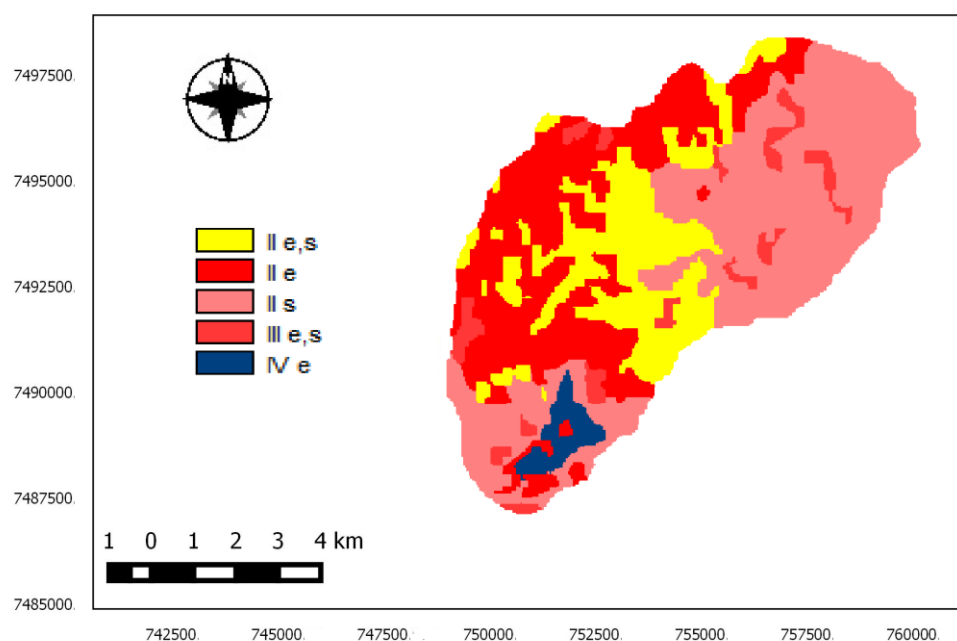
Tabela 10 - Determinação das classes de capacidade de uso pelos critérios da tabela de julgamento

	Solos	F.A.	P.E.	Ped	Df	P.	R.I.	Dec.	E.L.	E.S.	V.	Classe	subclasse
01	LV1/0-3	II	I	I	II	I	I	I	II	II	I	II	Ile,s
02	LV1/3-6	II	I	I	I	I	I	II	II	II	I	II	Ile,s
03	LV1/6-12	II	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	IIle
04	LV1/12-20	II	I	I	III	I	I	IV	II	II	I	IV	IVe
05	LV1/20-40	II	I	I	IV	I	I	VI	II	II	I	VI	VIe
06	LV1/>40	II	I	I	IV	I	I	VII	II	II	I	VII	VIIe
07	LVA36/0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	IIIs
08	LVA36/3-6	III	I	I	II	I	I	II	II	II	I	III	IIIs
09	LVA36/6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	IIle,s
10	LVA36/12-20	III	I	I	III	I	I	IV	II	II	I	IV	IVe
11	LVA36/20-40	III	I	I	IV	I	I	VI	II	II	I	VI	VIe
12	LVA36/>40	III	I	I	IV	I	I	VII	II	II	I	VII	VIIe
13	LVA52/0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	IIIs
14	LVA52/3-6	III	I	I	II	I	I	II	II	II	I	III	IIIs
15	LVA52/6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	IIle,s
16	LVA52/12-20	III	I	I	III	I	I	IV	II	II	I	IV	IVe
17	LVA52/20-40	III	I	I	IV	I	I	VI	II	II	I	VI	VIe
18	LVA52/>40	III	I	I	IV	I	I	VII	II	II	I	VII	VIIe

(F.A.= Fertilidade aparente; P.E.= Profundidade efetiva; P.D.= Permeabilidade e drenagem interna; Def. = Deflúvio; Ped. = Pedregosidade; R.I. = Risco de inundação; Dec. = Declividade; E.L. = Erosão laminar; E.S. = Erosão em sulcos; V = Voçorocas).

Após a avaliação através da Tabela de julgamento anterior, reclassificou-se através do módulo *reclass* do SIG- Idrisi Selva, todas as áreas com as mesmas características, agrupando-as em um mesmo identificador. Obteve-se assim, o mapa de capacidade de uso das terras da bacia (Figura 18), com cinco subclasses, que apresenta os resultados observados na Tabela 11 com as áreas e o percentual ocupado por cada classe de capacidade de uso das terras.

Figura 18 - Distribuição das classes de capacidade de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP).



Sistema de Projeção UTM
DATUM SIRGAS 2000

Autor: Gabriel Rondina Pupo da Silveira, 2019

Tabela 11 - Área e percentual por cada classe de capacidade de uso da terra.

Classes de Capacidade	Área	
	Ha	%
Ile,s	1376,90	20,56
Ile	2004,88	29,93
Ils	2769,75	41,35
IIIe,s	364,96	5,45
IVe	181,62	2,71
TOTAL	6698,12	100

A análise da Figura 18 e Tabela 11 permitiu constatar que as subclasses Ile,s, Ile e Ils predominaram em 91,84% (6151,53 ha).

A classe II apresenta terras com pequenas limitações, com problemas simples de conservação e/ou melhoramentos químicos.

As subclasses “e” e “s” referem-se a solos que apresentam pequenos problemas de erosão e de solo, necessitando de manutenção frequente e ou melhoramento das suas condições físicas, podendo tomar como medidas, a rotação de culturas.

5.6 Levantamento das restrições quanto a recuperação florestal

No desenvolvimento do projeto, algumas áreas presentes no mapeamento de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica tiveram que ser descartadas da análise multicriterial, pelo fato de serem áreas já ocupadas pela ação antrópica, como cidades e vilarejos, ou ambiental, como represas ou várzeas, que não podem ser consideradas como áreas apropriadas para recomposição florestal, sendo assim denominadas “Restrições”.

As restrições foram transformadas em imagens Booleanas, sendo que o valor um (1) corresponde as áreas que devem ser excluídas no processo de análise de adequação de uso das terras.

5.7 Definição dos pesos quanto às classes

Posteriormente a organização hierárquica dos pesos de compensação do Processo Hierárquico Analítico (SAATY, 1977), a partir da técnica de Combinação Linear Ponderada (CLP), que considera o cruzamento de dados de dois em dois fatores, formando assim a matriz de comparação pareada (Tabela 13).

Para essa comparação ocorrer, foi necessário padronizar todos os fatores, trazendo a valores que variavam de “0” (Nenhuma importância) a “9” (Alta importância).

Tabela 12 - Matriz de comparação dos pares para os fatores.

	A	B	C	D	E
A	1	3	5	9	9
B	0,333	1	3	7	9
C	0,2	0,333	1	3	7
D	0,111	0,143	0,333	1	3
E	0,111	0,111	0,143	0,333	1

Notas: $\lambda_{\max}$ = 5,3; CI = 0,075; e CR = 0,067.

A = Proximidade à rede hidrográfica; B = Proximidade aos fragmentos florestais; C = Erodibilidade do solo; D = Uso e ocupação dos solos; E = Declividade.

A matriz hierárquica foi desenvolvida a partir de estudos agronômicos a respeito dos fatores que mais interferem na degradação dos recursos naturais. Por meio de discussões de laboratório e revisões de literatura, pode-se constatar a partir da comparação pareada (dois a dois fatores) a importância da relação entre os fatores pareados para a degradação ambiental.

Ao se comparar, um fator com ele mesmo, o resultado foi “1”, ou seja, ele mesmo não pode causar prejuízo para ele mesmo.

Quando o resultado chegou ao valor máximo (9), pode-se constatar um sério risco de degradação, caso este das situações: Uso e ocupação do solo X Proximidade à rede hidrográfica; Declividade X Proximidade à rede hidrográfica; Declividade X Proximidade aos fragmentos florestais, sendo estes casos de sério risco para a conservação ambiental, devendo haver maior cuidado e preocupação quanto a conservação ambiental.

Os valores resultantes em “7” mostraram um médio risco, como os casos: Uso e ocupação dos solos X Proximidade aos fragmentos florestais; e Declividade X Erodibilidade do solo.

Os valores cruzados resultantes em “3” determinaram um baixo risco, como os casos: Proximidade aos fragmentos florestais X Proximidade à rede hidrográfica; Erodibilidade do solo X Proximidade aos fragmentos florestais; e Uso e ocupação dos solos X Erodibilidade do solo.

Nos resultados cujo valor resultaram em valores menores do que “1”, mostraram interações entre fatores que não causam prejuízos para a conservação ambiental, sendo considerados assim, de pouca importância.

Conforme proposto por Saaty (1987), o valor do *eigenvalue* foi maior que o número de fatores ($n = 5$) com valor de 5,3. O valor final do CR foi igual a 0,067 indicando preenchimento aleatório sem haver necessidade de reestruturação ao apresentar valor inferior ao de 0,1.

Depois de avaliada a consistência do preenchimento da matriz por meio da técnica de AHP, obteve-se a atribuição dos pesos para cada fator, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Peso dos fatores

Fatores	Valor da Ponderação
Proximidade à rede de drenagem	0,501
Proximidade aos fragmentos florestais	0,276
Erodibilidade do solo	0,136
Uso e Ocupação do solo	0,056
Declividade	0,03

De acordo com o elencado na tabela de fatores (Tabela 13), os pesos obtidos foram de 0,501, para a proximidade à rede de drenagem, 0,276 para os fragmentos florestais, 0,136 para a erodibilidade do solo, de 0,056 para uso e ocupação do solo e de 0,03 para declividade. Assim, os pesos que mais interferem na fragilidade ambiental são: proximidade à rede de drenagem (0,501), proximidade aos fragmentos florestais (0,276) e a erodibilidade do solo (0,136), sendo fatores de alta prioridade para serem consideradas na recomposição florestal.

5.8 Mapa de áreas para a recomposição florestal da bacia hidrográfica do rio Araquazinho

O mapa de áreas prioritárias à recuperação da vegetação nativa (Figura 19) foi obtido por meio da técnica CLP (Combinação Linear Ponderada) dentro do ambiente SIG- QGIS Desktop 2.8.3, demonstrando por meio de todas as informações de fatores juntamente com seus pesos classificados de 0 a 1, as áreas necessárias para a recomposição florestal por nível de prioridade.

Os mapas foram gerados com base nos fatores e pesos (proximidade à rede de drenagem, declividade, fragmentos de vegetações e restrições) na técnica CLP em plataforma SIG.

O resultado apresentado após a operação foi de acordo com os valores de padronização dos fatores, em um score de zero (0) a um (1) com base na lógica de sua vulnerabilidade. Conforme os valores se aproximam de um, mais a paisagem necessita de cobertura vegetativa, ou seja, de recuperação florestal.

Os níveis de prioridade à recuperação foram divididos em cinco classes: baixa, média, alta e muito alta, conforme reclassificação apresentada na Figura 19, e suas áreas definidas na tabela 14.

Figura 19 - Mapa de áreas prioritárias à recuperação da vegetação nativa da bacia hidrográfica do rio Araquazinho – São Manuel (SP), por Combinação Linear Ponderada (classes de prioridade)

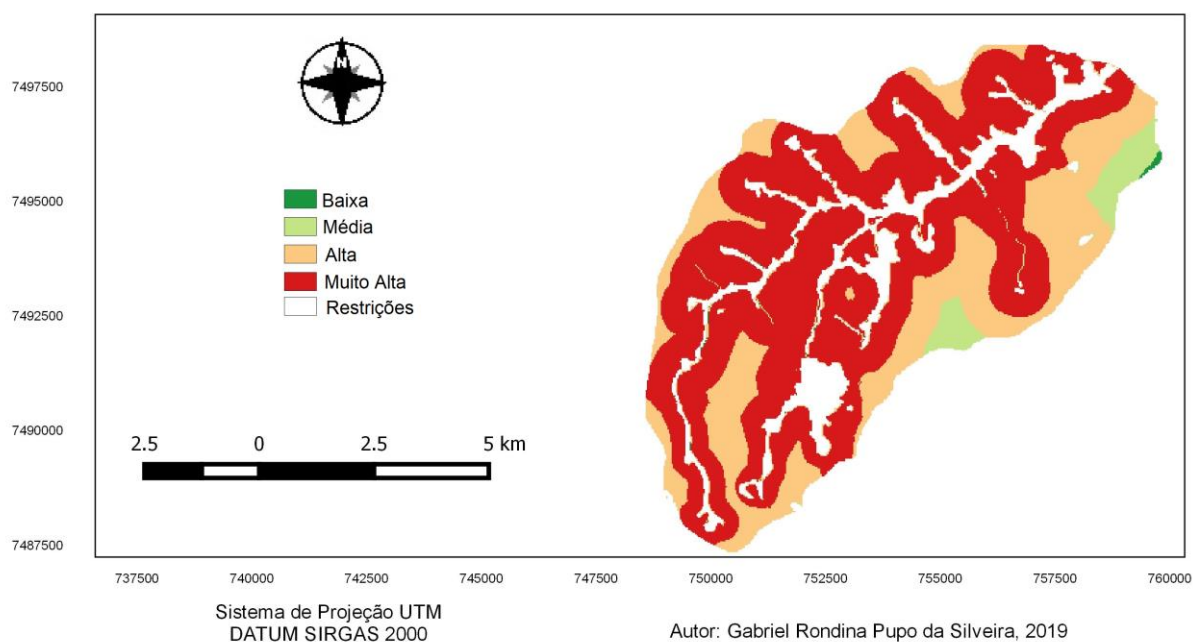


Tabela 14 - Área e percentual das cinco classes de prioridade à recomposição florestal na bacia hidrográfica do rio Araquazinho, São Manuel (SP)

Classes de Prioridade	Área	
	Ha	%
Baixa	11,86	0,18
Média	252,36	3,77
Alta	1890,93	28,23
Muito Alto	3941,92	58,85
Restrições	601,05	8,97
TOTAL	6698,12	100

De acordo com a Figura 19 e a Tabela 14 pode-se observar que a bacia hidrográfica do rio Araquazinho precisa de recomposição florestal, pelo fato de apresentar 58,85% (3941,92ha) de sua área total com nível de prioridade “Muito alto” para a recomposição florestal, mostrando assim a grande necessidade de conservação da bacia hidrográfica.

Os resultados obtidos ressaltam a importância para atingir o objetivo de conservar os recursos hídricos e os fragmentos florestais, ou seja, maior proximidade à rede de drenagem.

As áreas mais distantes à rede de drenagem, e mais próximas aos divisores de água, cota altimétrica mais elevada, apresentaram menor nível de prioridade para recomposição florestal, níveis “Baixo”, “Médio” e Alto, que somados, representam 32,18% da área total (2155,15ha).

Mesmo os resultados apresentando níveis elevados para a recomposição florestal, deve-se ressaltar que segundo a legislação ambiental vigente, Lei 12727/2012, as margens devem ser recuperadas de acordo com a medida do leito do rio (BRASIL, 2012).

5.9 Divulgação dos resultados obtidos

Como etapa final proposta no projeto, esse estudo foi divulgado para a sociedade.

A divulgação foi feita para os jovens do programa “Jovem Agricultor do Futuro” patrocinado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do estado de São Paulo (SENAR) por meio do Sindicato Rural de São Manuel.

A divulgação abrangeu o público jovem ligado ao campo. Como o programa está instalado no prédio da “Legião Mirim de São Manuel”, mais jovens puderam aprender com o exposto que serviu como educação ambiental.

A apresentação contou com o apoio de multimídia e slides, na qual foram apresentadas figuras, tabelas e dados a respeito desse estudo.

A divulgação por meio de palestra se fez importante, pois os jovens e a população em geral conhecem muito pouco a respeito da importância da conservação ambiental, sendo que muitos desconheciam a importância de pequenos gestos, como o não jogar lixo no chão, para o meio ambiental.

Assim, a apresentação e divulgação dos dados obtidos pela academia para a população em geral se faz importante, pois ainda existe muito o desconhecimento a respeito das leis e atitudes para com o meio ambiente, e o processo de educação ambiental se faz necessário para que atos ilícitos sejam diminuídos.

Os jovens ficaram muito interessados com o explanado, e muitos disseram que iriam divulgar para suas famílias e amigos que também desconheciam sobre a importância do assunto.

Os jovens saíram muito satisfeitos com os dados e informações divulgadas e com uma visão de sustentabilidade a respeito do seu município, conforme pode-se observar nas fotos ilustrativas apresentadas pelas Figuras 20 a 24.

Figura 20 - Divulgação dos resultados obtidos



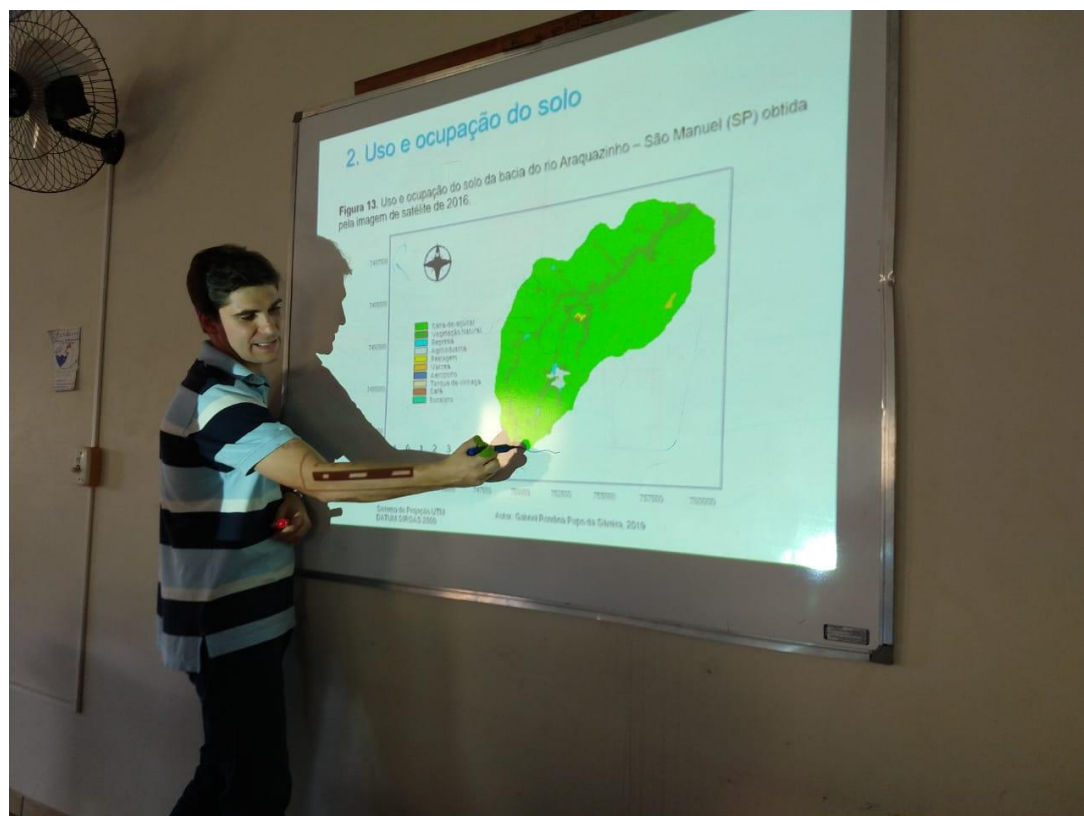
Figura 21 - Divulgação dos resultados obtidos**Figura 22 - Divulgação dos resultados obtidos**

Figura 23 - Divulgação dos resultados obtidos



6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a bacia hidrográfica do rio Araquazinho necessita de cuidados, pois apresenta níveis muito altos e altos para a recomposição florestal, pelo fato de aproximadamente 87,08% (5832,85ha) da área do total da bacia hidrográfica.

Pode-se observar, também, que o resultado se reforça quando observado o mapa de conflito de uso, que mostrou que a área da bacia hidrográfica não apresenta conservação adequada, de acordo com a legislação ambiental vigente (Lei 12727/2012), apresentando apenas 10,77% de área total destinada para a preservação, que difere do que é proposto pela referida lei, que 20% de toda área deve ser destinada para Reserva Legal, incluindo as APPs que se faz obrigatória de acordo com a largura do lei do rio, podendo aumentar ainda essa porcentagem, que na área seria de apenas 4,52% (303,22ha) da área total, necessitando de ao menos 15,48% (1036,40ha) para completar os 20% de reserva legal.

As áreas mais indicadas para recomposição florestal, nível de prioridade “Muito alto” são aqueles com maior proximidade aos “fragmentos florestais”, ou seja, aqueles com maior proximidade a rede de drenagem, com cotas altimétricas mais baixas, próximas ao talvegue da bacia hidrográfica, aonde se encontra a rede de drenagem, e com solos com maior risco de erodibilidade, solos estes com textura mais arenosa e maiores problemas de infiltração.

De acordo com a análise do uso e ocupação do solo da bacia, concluiu-se que a área é ocupada em grande parte para fins agrícolas, principalmente pela cultura canavieira, que ocupa 87,37% (5852,02ha) da área total, que evidencia seu potencial agrícola, com solos bons e boa declividade, fato este comprovado pelo estudo da capacidade de uso do solo, que mostrou que 91,84% (6151,53ha) da bacia apresentam classe II, que são terras próprias para fins agrícolas, porém podendo apresentar problemas de erosão.

A experiência de divulgação foi muito satisfatória, apresentando o trabalho para uma plateia composta por jovens que desconheciam a necessidade de cuidados ambientais, criando assim uma consciência ambiental e sustentável não só para a área em questão, mas para o todo, mostrando que todos são responsáveis pelo cuidado com o meio ambiente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de combinação linear ponderada (CLP) atrelado à análise multicriterial se mostrou importante e eficiente por mostrar as áreas mais adequadas à recomposição florestal, considerando áreas que poderiam ser aliadas aos recursos hídricos e fragmentos florestais, podendo ocasionar em maior conservação dos recursos ambientais e rede de drenagem existentes na bacia hidrográfica, além de maior distribuição de material genético das plantas existentes, criando corredores ecológicos para conservação da fauna e da flora. Além dessa possibilidade, o método se faz eficiente por poder considerar em sua plataforma diversos fatores que devem ser envolvidos na tomada de decisão quanto à recomposição florestal, dando uma resposta direcionada para o tomador de decisão, mostrando-se uma ferramenta eficaz de planejamento ambiental.

A metodologia se mostrou adequada, confirmando a eficiência das geotecnologias e análise multicriterial que possibilitaram juntas, a quantificação de vários fatores, podendo resultar em dados considerando vários critérios a serem adotados na tomada de decisão não só para a área em questão, mas servindo como exemplo para outras áreas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R. **Planejamento Ambiental**: caminho para a participação popular e gestão ambiental para o nosso futuro comum. Uma necessidade, um desafio. Biblioteca Universidade Estácio de Sá. Ed: Thax, Rio de Janeiro, 1993.
- ALVES, L. M. **Sistemas de informação geográfica como instrumento para o planejamento de uso da terra, em bacias hidrográficas**. Viçosa, 1993.112p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa.
- ARGENTO, M. S. F.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento geomorfológico. In: CUNHA, S.B., GUERRA, A.J.T. (Org.) **Geomorfologia**: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 9, p.264-82.
- BRASIL. **Lei n ° 12.727**, de 17 de outubro de 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm> Acesso em: 23 mai. 2019.
- CALIJURI, M. L.; CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G.; RIOS, L. Implantação de um Sistema de Informação Geográfica na bacia hidrográfica do ribeirão e represa do Lobo (Broa) – Estado de São Paulo. In: GIS Brasil 94, Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento. **Anais...** Curitiba: SAGRES, 1994. Cap.12, p.35-43.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, SP, INPE, 2001. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>> Acesso em 17 de fevereiro de 2017.
- CAMPOS, S.; CARDOSO, L. G.; CAMPOS, M.; NARDINI, R.C.; RODRIGUES, B. T.; RODRIUES, M.T.; TAGLIARINI, F.S.N.; TRAFICANTE, D.P. Geoprocessamento aplicado no diagnóstico dos conflitos de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente no ribeirão das agulhas – Botucatu (SP). ISSN: 2446-6549 **Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v.2, n.6, p.163 - 175, 2016.
- CEPAGRI. Unicamp. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura: Clima dos Municípios Paulistas**. 2018. Disponível em:<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html>. Acesso em: 17 fev. 2019.
- CHIARINI, J.V.; DONZELLI, P.L. **Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do estado de São Paulo**. Bol. Inst. Agron. Campinas, n. 3, p. 1 - 20, 1973.
- COLLINS, M. G., STEINER, F. R., RUSHMAN, M. J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. **Environment Management**. v. 28, n. 5, p. 611-62, 2001.
- CORSEUIL, C.W.. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios na adequação de uso das terras**. 2006. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) -

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

EASTMAN, J.R. **IDRISI Selva**: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University. 2012

EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro**: Guide to GIS and Image Processing. Worcester: Clark University, 2003. 328p.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: **Idris 32 release 2: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, Clark Labs, 2001. . 2, p. 1-22.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **GIS and decision making**. Genebra: UNITAR, 1993. 112 p. (Enplorations in Gographic Information Systems Technology).

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**: Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 2006. 212 p.

FEMPAR. Fundação Escola do Ministério Público do Estado do Paraná. Código Florestal: Um debate sobre o futuro ambiental do Brasil. **REVISTA DIREITO DOS HUMANOS**. Publicação: FEMPAR. 1º Edição, Junho/2010.

FRANÇA, G.V. A classificação de terras de acordo com sua capacidade de uso como base para um programa de conservação de solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1, 1963, Campinas. **Anais...** São Paulo: Secretaria da Agricultura, Divisão Estadual de Máquinas Agrícolas, 1963. p.399-408

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2008.

GARCIA, Y. M. **Conflitos de uso do solo em APPs na Bacia hidrográfica do córrego Barra Seca (Pederneiras/SP) em função da legislação ambiental**. 2014. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados dos municípios**. 2016. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/saopaulo/> são Manuel .pdf. Acesso em: 10 jan. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta topográfica**: folha de São Manuel (SF-22-Z-B-II-3) e folha de Barra Bonita (SF-22-Z-B-V-2). Serviço gráfico do IBGE, 1973. Escala 1:50.000.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de**

capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LOPES, E. R. N.; LOURENÇO, R. W.; REUSS-STENZEL, G. M.; Análise Multirriterial aplicada a elaboração de zoneamento de unidade de conservação na zona costeira da Bahia, Brasil. ISSN: 2177-2738. **Revista RA´E GA, Curitiba**, v.37, p.65 – 90. Ago/2016.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, August 2006, p. 703–726.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MENEZES, D. B. **Avaliação de aspectos metodológicos e aproveitamento de informações do meio físico em estudos geoambientais de bacias hidrográficas:** aplicação na bacia do rio Pardo. Rio Claro, 2001. 235p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MIARA, M. A.; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. **Revista RA´E GA, Curitiba**, n. 13, p. 85-98, 2007.

Morgan, J.L.; Gergel, S.E. & Coops, N.C. 2010. Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management. **BioScience**, 60(1): 47-59.

OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERAN FILHO. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Campinas, 1999, p.64.

OLIVEIRA, F.; OLIVEIRA, C. H. R.; LIMA, J. S. S.; MIRANDA, M, R.; RIBEIRO FILHO, R. B.; TURBAY, E. R. M. G.; FERRAZ, F.. Definição de áreas prioritárias ao uso público no parque estadual da Cachoeira da Fumaça - ES, utilizando geoprocessamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 6, p.1027- 1036, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000600007>. Acesso em 04 set. 2016.

POLLO, R. A. **Diagnóstico do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso no município de São Manuel (SP), por meio de geotecnologias.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

POMPERMAYER, R. de S. Análise multicriterial como instrumento de gestão de recursos hídricos: o caso das bacias dos rios piracicaba, capivari e jundiá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p.117-127, 2007.

RANDHIR, T. O.; O'CONNOR, R.; PENNER, P. R.; GOODWIN, D. W. A watershed-based land prioritization model for water supply protection. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 143, n. 1/3, p. 47-56, 2001.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. ed. UFSM, Santa Maria, RS. 1991, p.181.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht. Kluwer Academic. (1996).

SAATY, T. L. The Analytical Hierarchy Process: what it is and how it is used. **Math Modelling**, Kidlington, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, L. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction**. Projection and forecasting. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA. 1991. 251p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 2004. 184p.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SCOLPEL, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D, SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC., 1993 – p.157-70.

SENADO FEDERAL. Código Florestal - Nova lei busca produção com preservação. **Revista Em Discussão!**. Ano 2 - nº 9 – dezembro de 2011.

SIGRH. **Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. 2018 Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao>. Acesso em: 03 fev. 2019.

SILVA, A. N. R.et al.. **SIG - uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes: uma ferramenta 3 D para análise ambiental, urbana, avaliação multicritério, redes neurais artificiais**. São Carlos, SP. Ed. Dos Autores, 2004. 227p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul; Editora da Universidade de São Paulo, 1993. p. 35-51.

SILVEIRA, G.R.P.. **Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP)**. 2016. 86f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SILVEIRA, G.R.P.; CAMPOS, S.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F. M.; GARCIA, Y.M.; CAMPOS, M. de; FELIPE, A.C.; SILVA, C.O.; POLONIO, V.D.; PARIZOTO, N.M.S.F. Geoprocessamento Aplicado na espacialização da Capacidade de 62 Uso do Solo para fins de Planejamento Conservacionista da Microbacia do Córrego São Caetano-Botucatu (SP). XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013. **Anais...** SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE.p.4367-4374.

SANTOS, H. G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. USDA, Washington, D.C. 1975. 930p

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentável das atividades rurais. **Informe agropecuário**. Belo Horizonte. v.21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000.

STORE, R.; KANGAS, J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habit suitability modeling. **Landscape and Urban Planning**. V.55, p.79-93, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997, p.943.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos**. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, 2006. Piracicaba. 151 p.

ZAKIA, M. J. B. Atualização Florestal - a Nova Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. In: **Curso realizado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ)**. Nazaré Paulista, 2013.

ZIMBACK, C.R.L.; RODRIGUES, R.M. **Determinação da capacidade de uso das terras da Fazenda São Manuel - UNESP**. FEPAF/FCA/UNESP, Botucatu, 1993. 36p.