

ANÁLISE MULTICRITERIAL APLICADO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS AO USO AGRÍCOLA DA TERRA DA BACIA DO RIO CAPIVARA, BOTUCATU, SP

**SÉRGIO CAMPOS¹; ANDREA CARDADOR FELIPE¹; MARCELO CAMPOS² E
ALINE MINARELLI RECHE¹**

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA - UNESP - Botucatu - São Paulo - Brasil. E-mail: seca@fca.unesp.br

² Departamento de Engenharia de Biosistemas, UNESP - Tupã - São Paulo - Brasil. E-mail: marcelocampos@tupa.unesp.br

1 RESUMO

O uso de sistemas de informação geográfica (SIG), aliado a técnica de análise de multicritérios, possibilita a padronização e a integração de dados, que normalmente são provenientes de diversas fontes, permitindo que se realize uma avaliação conjunta dos mesmos, proporcionando mais eficiência e confiabilidade no processo de tomada de decisão para promover a adequação de uso das terras. Este estudo objetivou analisar as áreas prioritárias ao uso agrícola da bacia do Rio Capivara, Botucatu, SP, por meio da análise multicriterial, visando à conservação dos recursos hídricos. Os resultados mostraram que o Sistema de Informação Geográfica Idrisi Selva aliado à técnica de análise de multicritérios e ao método de combinação linear ponderada mostrou ser uma ferramenta eficiente na combinação dos diferentes critérios, permitindo a determinação da adequação do uso agrícola das terras de forma menos subjetiva. Os critérios ambientais mostraram-se adequados para a combinação e análise multicriterial, permitindo a elaboração do mapa das classes de adequação ao uso agrícola, podendo ser útil para o planejamento regional e nas tomadas de decisões pelos órgãos públicos e agentes ambientais, pois o método leva em consideração o uso da terra racional e permitindo a conservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Avaliação multicriterial, uso da terra, sistema de Informação Geográfica

**CAMPOS, S.; FELIPE, A.C.; CAMPOS, M.; RECHE, A.M.
ANALYSIS MULTICRITERIA APPLIED IN THE DEFINITION OF PRIORITY
AREAS FOR USE OF AGRICULTURAL LAND RIVER BASIN CAPIVARA,
BOTUCATU, SP**

2 ABSTRACT

The use of geographic information systems (GIS), combined with advanced analysis technique, enables the standardization and data integration, which are usually from different sources, allowing you to conduct a joint evaluation of the same, providing more efficiency and reliability in the decision-making process to promote the adequacy of land use. This study aimed to analyze the priority areas of the basin agricultural use of the Capivara River, Botucatu, SP, through multicriterial analysis, aiming at conservation of water resources. The results showed

that the Geographic Information System Idrisi Selva combined with advanced analysis technique and the weighted linear combination method proved to be an effective tool in the combination of different criteria, allowing the determination of the adequacy of agricultural land use less subjective way. Environmental criteria were shown to be suitable for the combination and multi-criteria analysis, allowing the preparation of the statement of suitability classes for agricultural use and can be useful for regional planning and decision-making by public bodies and environmental agents because the method takes into account the rational use of land and allowing the conservation of hydric resources.

Keyword: Evaluation multicriterial, soil use, Geographical Information System.

3 INTRODUÇÃO

Atualmente percebe-se que a questão ambiental vem adquirindo grande importância em caráter mundial, com envolvimento direto da sociedade e de instituições governamentais e privadas. Isto pode ser evidenciado pela preocupação em utilizar os recursos naturais com o mínimo de interferência possível no ambiente para garantir a sustentabilidade e, conseqüentemente, a sobrevivência das futuras gerações. Para isto, é imprescindível conhecer as características destes recursos dentro do ambiente onde estão inseridos, levando em consideração o grau de aptidão para um determinado tipo de uso. Isto permite que os recursos possam ser explorados de forma racional, preservando as suas características naturais e sua capacidade de produção econômica e sustentável, causando o mínimo de dano ao ambiente e às pessoas que dele tiram o seu sustento.

A utilização das terras para o desenvolvimento de atividades como agricultura e pecuária tem causado grandes alterações no meio ambiente, principalmente quando estas são praticadas de forma intensiva, desconsiderando a fragilidade e aptidão dos recursos naturais. Em decorrência desta postura, aparecem impactos significativos no ambiente de produção que são exemplificados pela diminuição da qualidade e disponibilidade de água, pela degradação da estrutura e redução da qualidade dos solos, refletindo no deslocamento e aporte de sedimentos, nutrientes, poluentes agroquímicos e dejetos de animais, ocasionando problemas de assoreamento e contaminação dos cursos de água. Dentro deste contexto, é essencial que se planeje as atividades considerando o grau de aptidão e os limites do ambiente a ser explorado.

O planejamento é um processo contínuo que busca as melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis. Sua finalidade é atingir metas específicas no futuro, sejam elas econômicas e/ou ambientais, a partir de diagnósticos que identifiquem e definam qual o melhor uso.

No planejamento das atividades agrícolas, que envolve a adequação de uso das terras, vários critérios ambientais são envolvidos nos processos de tomada de decisão. Esses critérios podem ser analisados de forma conjunta, utilizando-se técnicas de análise de multicritérios e de geoprocessamento.

O uso de sistemas de informação geográfica, enquanto ferramenta de geoprocessamento, aliado a técnica de análise de multicritérios, possibilita a padronização e a integração de dados, que normalmente são provenientes de diversas fontes, permitindo que se realize uma avaliação conjunta dos mesmos, proporcionando mais eficiência e confiabilidade no processo de tomada de decisão para promover a adequação de uso das terras.

Diversos pesquisadores vem empregando o método da Combinação Linear Ponderada na obtenção de áreas prioritárias, sensíveis ou de risco para determinação dessas áreas no

manejo correto e sustentável, na qualidade de água de uma bacia hidrográfica (ZHU; DALE, 2001), na determinação da fragilidade ambiental de uma área (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006), em áreas de risco ambiental em barragens (DESTRO et al., 2009 e na recomposição florestal visando a conservação dos recursos hídricos (SARTORI e ZIMBACK, 2011; NOSSACK et al., 2014).

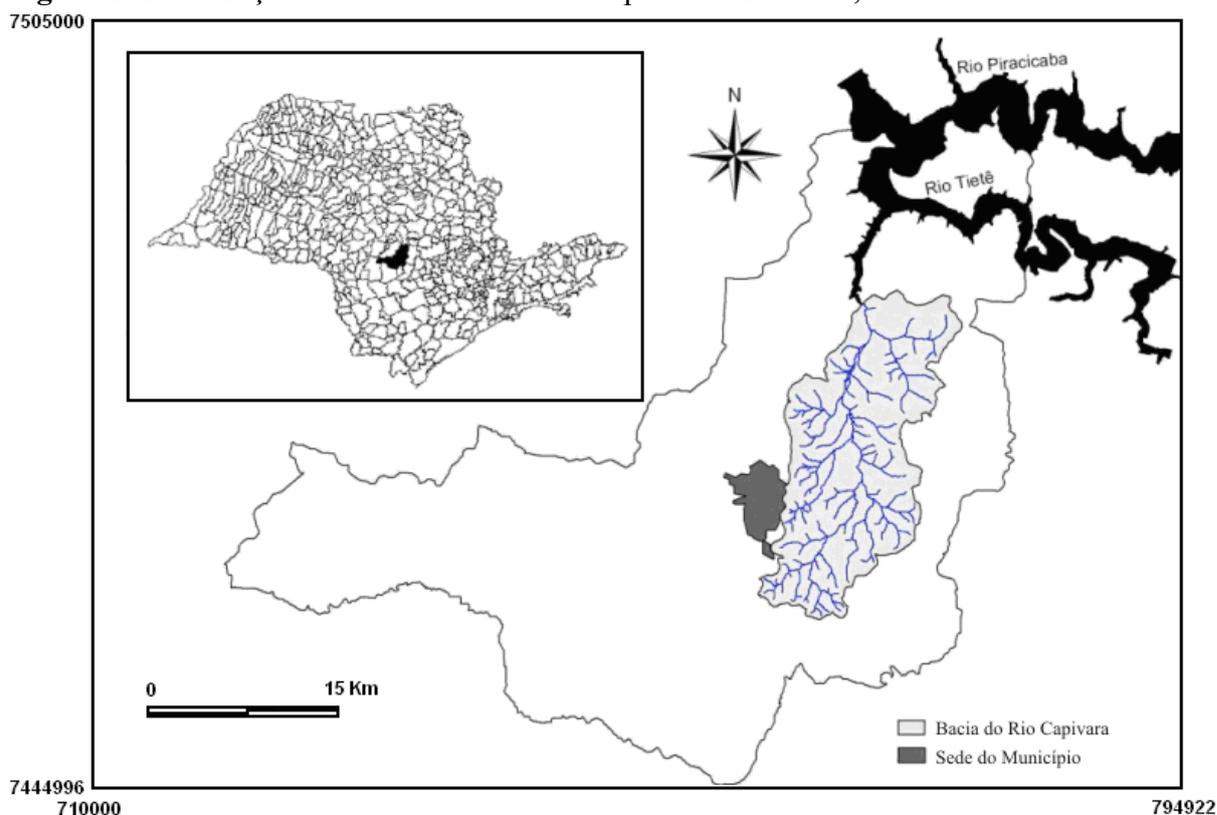
Na bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP), área de estudo, atividades como a agricultura, reflorestamento e a pecuária, muitas vezes, são realizadas em locais inadequados e nem sempre são utilizadas práticas conservacionistas. Observam-se áreas que deveriam ser destinadas à preservação permanente como matas ciliares e nascentes, sendo utilizadas para o plantio de culturas anuais e para criação de gado, o que pode comprometer a produtividade e a sustentabilidade sócio-ambiental da comunidade.

Desta forma, este estudo pode proporcionar subsídios teóricos, conceituais e metodológicos para a realização de outros que enfoquem esse tipo de problema, bem como, fornecer ao poder público e à comunidade o diagnóstico da área e seus respectivos usos, visando à tomada de decisões adequadas à solução de possíveis problemas encontrados.

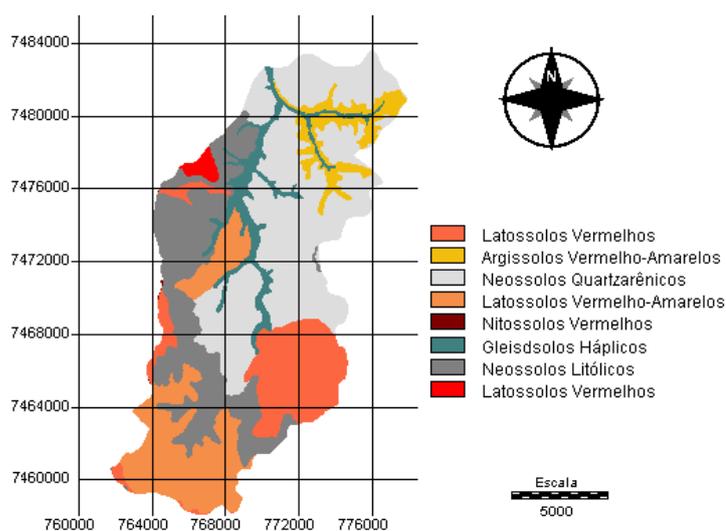
Neste contexto, este estudo teve por objetivo avaliar o emprego da avaliação multicriterial em ambiente SIG, através do método Combinação Linear Ponderada, na geração do mapa de áreas prioritárias ao uso agrícola da terra da bacia do Rio Capivara, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo, visando a conservação dos recursos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio Capivara (Figura 1), está situada no município de Botucatu (SP) entre os paralelos 22° 39' a 22° 57' de latitude S e os meridianos 48° 17' a 48° 29' de longitude W Gr., com uma área de 21912,13ha e um clima predominante do tipo Cfa.

Figura 1. Localização da microbacia do Rio Capivara – Botucatu, SP.

Os solos (Figura 2) ocorrentes na área foram classificados como: Latossolos Vermelhos-Amarelos (LVA); Latossolos Vermelhos (LV); Neossolos Litólicos (RL) e Neossolos Quartzarênico Argissólico e Litólico (RQ), segundo Piroli (2002).

Figura 2. Unidades de solo da microbacia do Rio Capivara – Botucatu, SP, (Piroli, 2002).

O mapa da rede de drenagem (Figura 3), rede viária (Figura 4) e planialtimétrico (Figura 5) obtidos a partir da carta planialtimétrica de Botucatu (IBGE, 1969), em escala 1:50000, com

curvas de nível (20 em 20m) e os pontos cotados, em formato de arquivo vetorial, foram importados para o SIG para a elaboração do MNT.

Figura 3. Rede de drenagem da microbacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

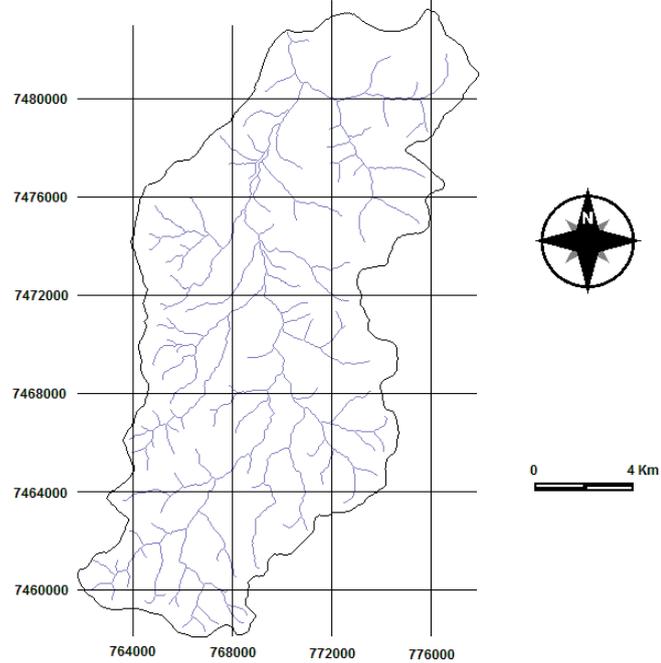


Figura 4. Rede viária da microbacia do Rio Capivara – Botucatu (PR).

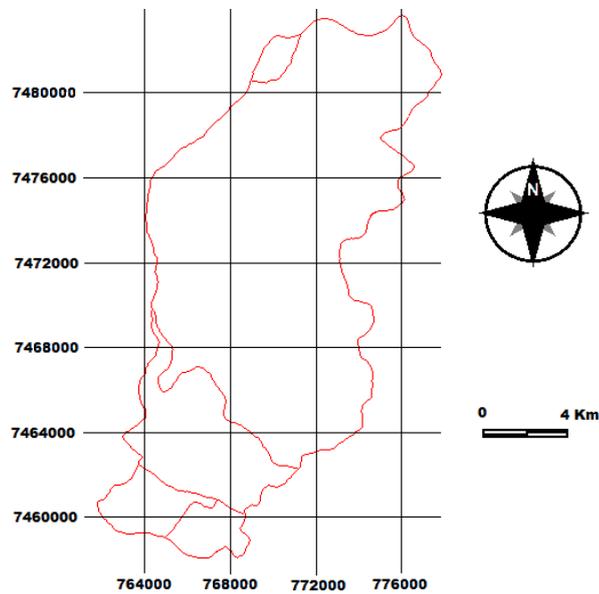
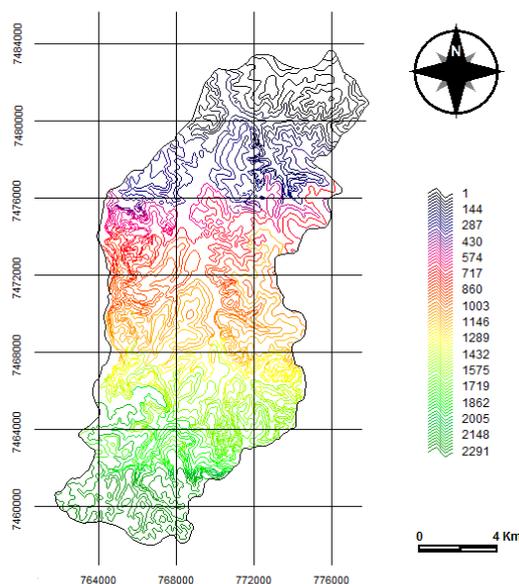
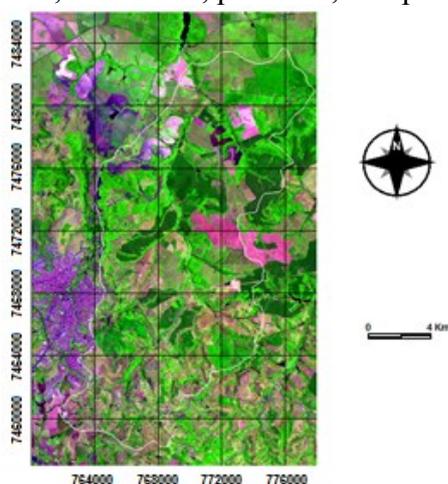


Figura 5. Planialtimetria da microbacia do Rio Capivara - Botucatu (SP).



Para o estudo do uso da terra foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, correspondentes às faixas do vermelho visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, órbita 220 e ponto 076, passagem de 19 de novembro de 2010, imagem Landsat 5 TM (Figura 6), georreferenciada no sistema UTM – Córrego Alegre.

Figura 6. Imagem Landsat TM 5, órbita 220, ponto 76, composição RGB – 543.



Após a seleção das bandas espectrais foi elaborada uma composição colorida RGB, as cores vermelha, verde e azul às bandas 5, 4 e 3, respectivamente. Tal composição é porque proporciona uma adequada caracterização e diferenciação dos usos e coberturas da terra e facilita a análise visual sobre a imagem para a extração de informações.

Na análise visual foram considerados aspectos referentes às características da área de estudo e a resolução espacial da imagem Landsat TM - 5 (30 metros), sendo definidos nove

classes de uso da terra: florestas, várzea, reflorestamento, culturas anuais, pastagem, barragem, área urbana, cana-de-açúcar, citrus e hidrografia.

Posteriormente, foi realizada a classificação automática da imagem (supervisionada) para a determinação do uso da terra da microbacia, que consistiu na seleção de amostras de treinamento (conjuntos de *pixels*) representativas de cada classe de uso do solo.

O MNT foi elaborado com a finalidade de determinar o mapa de declividade da microbacia, utilizando os dados de altimetria obtidos da carta planialtimétrica de Botucatu (IBGE, 1969).

A primeira etapa para geração do MNT consistiu na obtenção das curvas nível em formato vetorial a partir da base cartográfica digital. Em seguida, foi realizada a interpolação matemática, com o objetivo de gerar uma superfície contínua representada pelo MNT que permitiu estimar valores de altitude (cotas) nos locais não amostrados, dentro do limite da área microbacia.

Para obter o valor de altitude entre as curvas de nível utilizou-se a metodologia de geração de Redes de Triangulação Irregular, disponibilizada no módulo *TIN (Triangular Irregular Network)* do SIG Idrisi Selva para interpolar os valores não amostrados no terreno. A interpolação foi realizada com a opção de restrição, o que assegura que as bordas dos triângulos não cruzem as isolinhas e que o modelo resultante da triangulação seja consistente com os dados originais das isolinhas e utilizando-se também o método parabólico. Este procedimento impede a presença de áreas planas, resultantes da interpolação entre isolinhas com o mesmo valor de atributo (EASTMAN, 2003).

O processo de interpolação teve por objetivo proporcionar uma suavização das curvas produzindo, dessa forma, um modelo mais real do terreno. Após a interpolação das cotas das curvas de nível, foi gerado um modelo de superfície contínua, o MNT propriamente dito.

Depois de gerar o MNT, a próxima etapa foi determinar as classes de declividade da microbacia, através do módulo *Surface*, que permite calcular a declividade em graus ou porcentagem a partir do MNT, automaticamente.

Para o desenvolvimento dos mapas de critérios foi necessário gerar sete intervalos de classes de declive de acordo com o grau de limitação de uso do solo em função da suscetibilidade à erosão (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). A suscetibilidade à erosão, diz respeito ao desgaste que a superfície do solo pode sofrer quando submetido a qualquer uso sem a adoção de medidas conservacionistas. Ela depende de fatores como: condições climáticas (regime pluviométrico); características do solo (textura, estrutura, permeabilidade, profundidade, capacidade de retenção de água, presença ou ausência de camada compactada e pedregosidade); condições de relevo (declividade, microrrelevo e extensão da pendente) e cobertura vegetal. Os novos intervalos de classe de declive (Tabela 1) foram determinados utilizando o algoritmo de reclassificação do SIG disponibilizado no módulo *Reclass*.

RAMALHO FILHO FILHO e BEEK (1995) consideram que, as áreas com declividades inferiores a 20% são consideradas as mais aptas para utilização agrícola, visto que, a suscetibilidade à erosão e o impedimento à mecanização (considerando as condições de solo) apresentam graus de limitação que variam de nulo, ligeiro, moderado e forte. Para declives superiores a 20% a restrição de uso aumenta consideravelmente. Sendo que, áreas com declives entre 20% a 45%, quando cultivadas, apresentam alta suscetibilidade à erosão e, tornando o controle da mesma, conseqüentemente, muito dispendioso. Para declives maiores que 45% as terras são consideradas inaptas para o uso agrícola.

Tabela 1. Formas de relevo e classes de declive (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).

Relevo	Intervalo de classes de declividade (%)
Plano	0 a 3
Suavemente ondulado	3 a 6
Moderadamente ondulado	6 a 12
Ondulado	12 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	> 45

O processo de análise de multicritérios teve por objetivo avaliar a adequação de uso agrícola com base em determinados critérios ambientais (legais e técnicos), ou seja, declividade, uso da terra, capacidade de uso da terra, APPs, rede de drenagem e estradas, identificados para este estudo em dois grupos de critérios: os que conferem uma restrição total à exploração agrícola das terras (restrições) e aqueles que conferem diferentes graus de aptidão para o mesmo fim (fatores).

Os critérios restringem as áreas da microbacia em adequadas e inadequadas para fins de exploração agrícola, independente do uso ou manejo do solo, sendo utilizado no desenvolvimento dos mapas de restrições uma escala *Booleana*, atribuindo-se o valor zero (0) para os locais inadequados e um (1) para os demais.

Os critérios referentes às APPs foram estabelecidos com base na Resolução N° 303 (CONAMA, 2002) e na Lei Federal N° 4.771 (BRASIL, 1965). De acordo com a lei, as APPs são definidas como: “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”. Portanto, são áreas que devem ser preservadas de ação antrópica, isto é, livres de exploração econômica.

De acordo com a Resolução n°. 303 do CONAMA (2002) constitui área de preservação permanente, a área situada em faixa marginal medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de 30 m, para o curso de água com menos de 10 m de largura. Foi estabelecida uma zona de proteção ciliar de 30 m, com a finalidade de atribuir maior proteção aos recursos hídricos, visto que as APPs amenizam a entrada de poluentes e sedimentos, absorvendo, retardando e filtrando o escoamento superficial, antes de atingir os cursos de água. Além disso, as APPs previnem a erosão do solo nas margens dos rios, por meio da trama de raízes que se formam, dando maior estabilidade aos taludes e propiciam um meio favorável à conservação da biodiversidade da fauna e da flora.

O primeiro passo para a elaboração do mapa de APPs foi determinar a zona de proteção de 30 m, em torno da rede de drenagem, por meio do operador de distância disponível no módulo *Buffer* do SIG, utilizando-se o arquivo vetorial obtido a partir da carta planialtimétrica de Botucatu (IBGE, 1969), originando, dessa forma, uma imagem *Booleana* (0 e 1). O segundo passo foi inverter os valores de atributo da imagem resultante, atribuindo o valor zero (0) para a zona de proteção e um (1) para o restante da imagem, condição necessária para este estudo.

Os corpos de água (açudes e rede de drenagem) foram obtidos a partir do mapa de uso da terra e da carta planialtimétrica de Botucatu (IBGE, 1969). No mapa de uso da terra foi feita uma reclassificação para isolar a classe de água, atribuindo-se o valor um (1) para a mesma e zero (0) para os demais usos da terra.

Desta forma, foram obtidas duas imagens *Booleanas* referentes aos corpos de água, que foram unidas utilizando-se o módulo *Overlay* do SIG. A imagem resultante foi reclassificada atribuindo-se o valor zero (0) para os corpos de água e 1 (um) para o restante da imagem.

O mapa final de restrição de água foi obtido por sobreposição das imagens *Booleanas* referentes às APPs e aos corpos de água, por meio do módulo *Overlay*.

As áreas de estradas consideradas inaptas para qualquer outra utilização foram extraídas da carta planialtimétrica de Botucatu (IBGE, 1969).

As restrições de água e estradas foram transformadas em imagens *Booleanas*, nas quais o valor zero (0) corresponde às áreas que não devem ser exploradas com agricultura e o valor um (1) corresponde às demais, com objetivo de excluí-las no processo de análise de adequação de uso das terras. Esses procedimentos foram realizados por meio dos módulos *Edit* e *Assign* do SIG.

Ao contrário dos mapas de restrições, que apresentam limites rígidos definidos (adequado ou inadequado), os mapas de fatores envolvem os critérios que conferem graus de adequação para toda a área da micorbacia e determinam superfícies contínuas, que representam a variação gradual da adequação de uso das terras. Em outras palavras, os fatores informam o quanto as áreas são adequadas para a exploração agrícola, com base numa escala crescente de valores que variam de 0 (menos adequado) a 255 (mais adequado).

Para isso, o primeiro procedimento foi transformar os valores das classes contidas em cada mapa (capacidade de uso das terras, uso das terras e declividade) em um intervalo entre zero (0) e 255, tendo por objetivo padronizar os diferentes mapas para serem combinados no final do processo de análise de multicritérios.

O SIG Idrisi efetuou o armazenamento e o processamento das imagens digitais em 8 *bits*, isto equivale a 2^8 que corresponde a 256 níveis de cinza (variando de 0 a 255 *bytes*). Em termos análogos, neste estudo, foi utilizada esta escala para representar a hierarquia de cada *pixel* na imagem em relação a variável indicadora do processo de avaliação da adequação ao uso agrícola das terras.

Os procedimentos metodológicos efetuados para a elaboração dos mapas de fatores consistiu em:

Para o fator uso da terra utilizou-se como critério de avaliação o grau de proteção contra a erosão que cada tipo de cobertura vegetal (uso atual) proporciona ao solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), sendo estabelecidas quatro classes de adequação de uso, que variam em função da maior ou menor proteção atribuída às terras em função do tipo cobertura vegetal.

Assim, a partir da imagem resultante da classificação supervisionada foram determinadas nove classes de uso das terras (florestas, várzeas, reflorestamento, citrus, cana-de-açúcar, culturas anuais, pastagem, área urbana e barragem (água), para elaboração do mapa de fator uso da terra. Para isso, as classes foram padronizadas para uma escala entre zero (0) a 255 *bytes*, usando uma ordem hierárquica arbitrária, que varia dos usos menos adequados (0) aos mais adequados (255), sendo definidas as seguintes classes de adequação: alta, média, baixa e restrita.

A declividade do terreno permite inferir que quanto mais íngreme for a área, mais crítica ela se torna para a exploração agrícola em função da suscetibilidade à erosão e do impedimento a mecanização, assim na padronização dos dados de declividade foram utilizadas como referências seis classes de declive (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). Esses critérios permitem inferir que, as declividades abaixo de 20% são as mais adequadas para a utilização agrícola: as de 20% a 45% conferem uma baixa adequação por apresentarem dificuldades com preparo do solo e mecanização. e as declividades maiores que 45% são inadequadas para essa atividade, devendo ser destinadas para outros usos, como: culturas permanentes, silvicultura e áreas de preservação. Esses critérios permitiram estabelecer quatro classes de adequação de uso que são: alta, média, baixa e restrita.

O mapa de fator declividade foi elaborado a partir do mapa de declividade, sendo que as classes de declive foram agrupadas e padronizadas para o intervalo numérico contínuo entre zero (0) e 255, seguindo uma ordem hierárquica arbitrária da mais baixa para a mais alta adequação.

Os mapas de capacidade de uso das terras, de uso da terra e de declividade depois de padronizados para a escala de zero (0) a 255 *bytes*, passaram a constituir novos mapas, contendo as classes de adequação de uso (alta, média, baixa e restrita), sendo os critérios adotados para cada um deles, realizado por meio dos módulos *Edit* e *Assign* do SIG.

Na determinação do fator capacidade de uso das terras utilizou-se como critério de avaliação o grau de aptidão das terras para a exploração agrícola, sendo utilizado uma ordem hierárquica arbitrária, segundo a escala de valores entre zero (0) a 255 *bytes* que representam a adequação de uso em função da capacidade de uso das terras para uso agrícola, estabelecido em quatro classes de adequação de uso: alta, média, baixa e restrita.

Na definição dos diferentes critérios para análise de multicritérios foi necessário definir a importância relativa de cada um no processo de decisão, sendo atribuído um determinado peso a cada critério interveniente (SILVA et al., 2004) e a influência de cada um para o processo de avaliação da adequação de uso das terras, utilizando-se o método de comparação pareada. Esse método fundamenta-se numa matriz quadrada ($n \times n$) de comparação entre os n critérios (fatores), na qual as linhas e as colunas correspondem aos critérios avaliados (na mesma ordem ao longo das linhas e das colunas). Cada célula da matriz (a_{ij}) representa a importância relativa do critério da linha i com relação ao critério da coluna j . Essa matriz é recíproca (Equação 3), sendo necessário preencher somente a metade triangular inferior esquerda, já que a outra metade deriva desta, e a diagonal principal assume valores unitários (Silva et al., 2004; Eastman, 2003). Em outras palavras, cada célula da matriz é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de critérios.

$$a_{ii} = 1 \quad \text{e} \quad a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (1)$$

A definição dos valores de importância relativa entre os critérios, determina os dados de entrada na matriz de comparação pareada e, a partir deles, são calculados os pesos ponderados dos fatores (autovetor da matriz) e a consistência do julgamento da matriz (máximo autovalor da matriz).

Assim, foi construída uma matriz de comparação pareada, por meio do módulo *Weight* do SIG, no qual os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando como base uma escala contínua de nove pontos que traduz a importância relativa entre eles, sendo posteriormente calculados os pesos de ponderação para cada mapa de fator por meio do método AHP (*Analytical Hierarchy Process* - Processo de Análise Hierárquica), por meio do módulo *Weight*, o qual apresenta uma estrutura similar ao método de SAATY (1980) e permite calcular a razão de consistência da matriz de comparação que, segundo SAATY e VARGAS (1991) deve ser menor que 0,1, indicando desta forma que as avaliações da matriz foram geradas aleatoriamente.

Na avaliação multicriterial utilizou-se o método da combinação linear ponderada, que consistiu na multiplicação de cada mapa de fator (x_i) padronizado (dentro do intervalo de 0 a 255) pelo seu peso ponderado (w_i), de acordo com o seu grau de importância determinado a partir da matriz de comparação pareada, somando-se em seguida todos os resultados da

multiplicação (Equação 1)., por meio do módulo MCE (*Multicriteria Evaluation* - Avaliação de Multicritérios) do SIG Idrisi Selva.

Tendo sido efetuada a soma dos mapas de fatores ponderados, a etapa final do processo consistiu na multiplicação desse resultado pelas restrições de modo a excluir as áreas que não podem ser utilizadas para a exploração agrícola, segundo os critérios adotados.

O mapa final de adequação de uso agrícola foi classificado em quatro classes (restrita, baixa, média, e alta) por meio do módulo *Reclass* do SIG - Idrisi Selva, para a análise das áreas da microbacia que estão sendo utilizadas de maneira adequada ou não, considerando os critérios utilizados neste estudo.

Para o fator uso da terra (Tabela 2) utilizou-se como critério de avaliação o grau de proteção contra a erosão que cada tipo de cobertura vegetal (uso atual) proporciona ao solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; GALETI, 1973 e LEPSCH, 2002), sendo estabelecidas quatro classes de adequação de uso, que variam em função da maior ou menor proteção atribuída às terras em função do tipo de cobertura vegetal.

Tabela 2. Classes de capacidade de uso da terra, valores e classes de adequação de uso.

Classes de capacidade de uso da terra	Valores de adequação	Classes de adequação
III _s	231 – 255	Alta
III _{s,e}	205 – 230	Alta
IV _s	188 – 204	Média
IV _e	171 – 187	Média
IV _{s,e}	152 – 170	Média
V _a	103 – 153	Baixa
VI _e	52 – 102	Baixa
VII _e	1 – 51	Muito Baixa
Restrição	0	

A classificação supervisionada permitiu distinguir oito classes de uso das terras (floresta, várzea, reflorestamento, pastagem, culturas anuais, cana-de-açúcar, citrus e água) para determinação do mapa de fator uso da terra, sendo padronizadas para uma escala entre zero (0) a 255 *bytes*, numa ordem hierárquica arbitrária, que varia dos usos menos adequados (0) aos mais adequados (255), ou seja, os seguintes valores: 255, 170, 85 e 0, respectivamente. As culturas anuais, cana-de-açúcar e citrus foram agrupados numa única classe e receberam o mesmo valor (85) porque, apesar de aparecerem em diferentes respostas espectrais na imagem classificada são destinadas para o mesmo fim (cultivo anual). Para a classe água atribuiu-se o valor zero (0), por ser considerada restrição.

Esses valores permitiram a definição das classes de adequação (Tabela 3): alta, média, baixa e restrita.

Com relação à declividade do terreno, é possível inferir que quanto mais íngreme for a área, mais crítica ela se torna para a exploração agrícola em função da suscetibilidade à erosão e do impedimento a mecanização.

Tabela 3. Classes de uso da terra, valores e classes de adequação de uso.

Classes de uso da terra	Valores de adequação	Classes de adequação
Floresta/Várzea/Reflorestamento	170 – 255	Alta
Pastagem	85 – 170	Média
Culturas Anuais/Cana-de-açúcar/Citrus	1 – 85	Baixa

Água	0	Restrita
------	---	----------

A padronização dos dados de declividade (Tabela 4) foi realizada segundo critérios estabelecidos por RAMALHO FILHO e BEEK (1995). Esses critérios permitem inferir que, as declividades abaixo de 20% são as mais adequadas para a utilização agrícola, de 20% a 40% conferem uma baixa adequação por apresentarem dificuldades com preparo do solo e mecanização. Já as declividades maiores que 40% são inadequadas para essa atividade, devendo ser destinadas para outros usos, como: culturas permanentes, silvicultura e áreas de preservação. Com base nesses critérios foram estabelecidas quatro classes de adequação de uso que são: alta, média, baixa e restrita. Portanto, o mapa de fator declividade foi permitido agrupar e padronizar para o intervalo numérico contínuo entre zero (0) e 255, seguindo uma ordem hierárquica arbitrária da mais baixa para a mais alta adequação.

Tabela 4. Intervalos de declividade, valores e classes de adequação de uso.

Classes de declividade (%)	Valores de adequação	Classes de adequação
0 a 3	205 – 255	Muito Alta
3 a 6	154 – 204	Alta
6 a 12	103 – 153	Média
12 a 20	52 – 102	Baixa
20 a 40	1 – 51	Muito Baixa
> 40	0	Restrita

Os mapas de capacidade e de uso da terra e de declividade depois de padronizados passaram a constituir novos mapas, os quais contêm as classes de adequação de uso (alta, média, baixa e restrita), segundo os critérios adotados para cada um deles, sendo o procedimento de padronização para a escala de zero (0) a 255 realizado por meio dos módulos *Edit* e *Assign* do SIG.

No julgamento dos fatores foi estabelecido para o fator declividade um grau de importância 3 (pouco mais importante), quando comparado ao uso da terra, uma vez que esse é um fator limitante para a exploração agrícola das terras, em função do grau de limitação por suscetibilidade à erosão e do impedimento à mecanização. Quanto ao fator capacidade de uso da terra, foi determinado um grau de importância igual a 7 (fortemente mais importante), quando comparado com o uso da terra, pois define o melhor uso dado à terra.

Tabela 5. Matriz de comparação pareada e pesos.

Fatores	Uso da terra	Declividade	Capacidade de uso da terra
Uso da terra	1	-	-
Declividade	4	1	-
Capacidade de uso da terra	7	3	1

Por fim, determinou-se um grau de importância 3 (pouco mais importante) para a capacidade de uso do solo, quando comparada à declividade. Embora a declividade seja considerada na avaliação da aptidão agrícola das terras, ela atua como um fator de limitação em relação ao tipo de manejo dado ao solo.

Tendo sido efetuada a soma dos mapas de fatores ponderados, a etapa final do processo consistiu na multiplicação desse resultado pelas restrições, de modo a excluir as áreas que não podem ser utilizadas para a exploração agrícola, segundo os critérios adotados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez estabelecidos os mapas intermediários (uso da terra – Figura 7, declividade – Figura 8 e capacidade de uso do solo – Figura 9) e de critérios de avaliação (restrições e fatores), foram determinadas as áreas referentes a cada um, por meio do módulo de cálculo de área do SIG. Dessa forma, foi possível estabelecer um índice percentual de cada critério de proporção em relação à área total da microbacia.

Figura 7. Uso da terra da microbacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

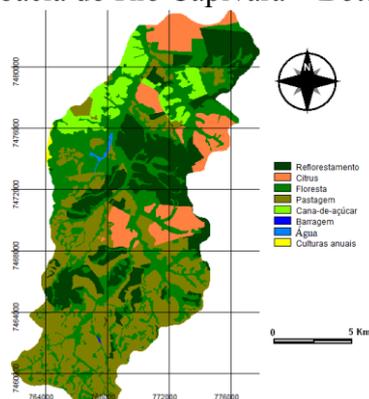


Figura 8. Carta clinográfica da microbacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

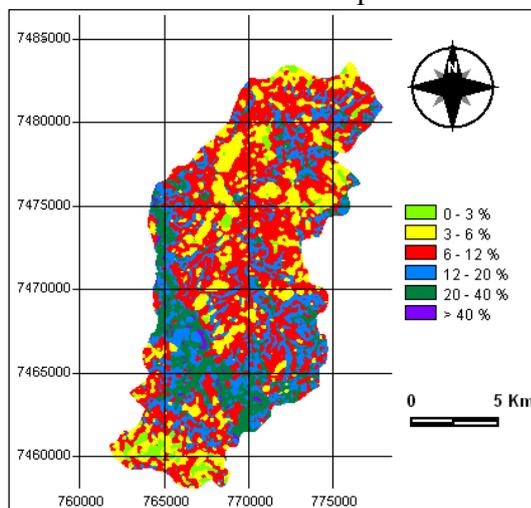
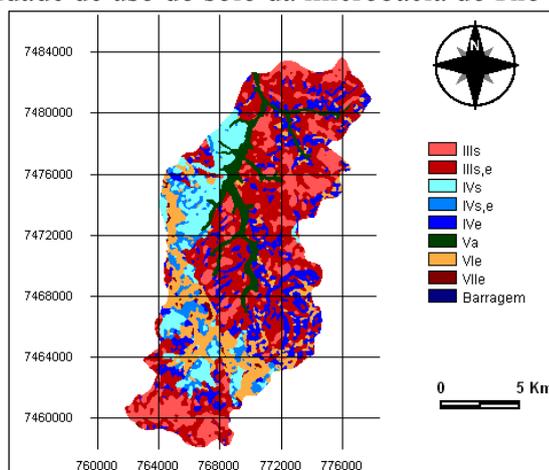
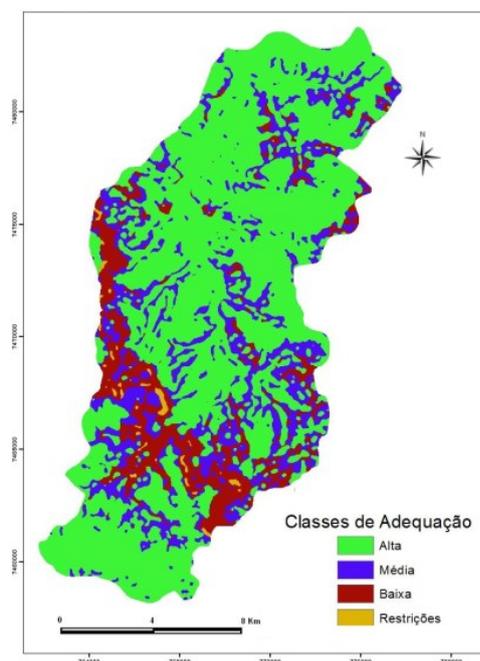


Figura 9. Carta de capacidade de uso do solo da microbacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

Os resultados (Figura 10 e a Tabela 6) permitiram mostrar que o mapa de fator declividade normalizado para escala de zero (0) a 255 *bytes* e representado em classes de adequação de uso, que variam da mais baixa para a mais alta, em relação à suscetibilidade à erosão e ao impedimento à mecanização.

Figura 10. Mapa de fator declividade em classes de adequação de uso agrícola da bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

Os resultados demonstram que, cerca de 48% da área apresenta um relevo que varia de plano a moderadamente ondulado (declive de 0 a 12%), sendo classificada como de alta adequação de uso agrícola. As áreas consideradas de média adequação de uso compreendem 39,53% da microbacia e, foram assim classificadas em decorrência do relevo ser ondulado (declive de 12 a 20%), apresentando uma forte suscetibilidade à erosão e por necessitar de práticas intensivas de controle.

Tabela 6. Classes de adequação de uso em relação ao fator declividade da microbacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

Classes de Adequação de Uso	Área	
	ha	%
Alta	10508,39	47,96
Média	8662,59	39,53
Baixa	2741,15	12,51
Restrita	0,00	0,00
Total	21.912,13	100

As áreas consideradas de baixa adequação de uso representam 12,51% da bacia. Essas áreas possuem um relevo forte ondulado (declive de 20 a 40%), tendo o seu uso agrícola muito restrito, onde na maioria dos casos o controle da erosão é muito dispendioso, sendo, portanto, mais indicadas para usos menos intensivos como: culturas permanentes, pastagem, silvicultura e preservação da flora e da fauna.

As áreas com restrição total ao uso agrícola em função da declividade do terreno ser maior que 40% e, conseqüentemente de alta suscetibilidade à erosão e com fortes impedimentos à mecanização.

O mapa de fator uso da terra (Figura 1 e Tabela 7), normalizado para escala de zero (0) a 255 *bytes*, mostra as classes de adequação de uso que variam da mais baixa para a mais alta.

As áreas da bacia que apresentam graus de adequação de uso (0 a 255) em relação à cobertura vegetal, estabelecidas em função da proteção que cada cobertura vegetal proporciona ao solo contra os processos de erosão, no qual o grau de proteção do solo aumenta dos usos mais intensivos para os mais conservacionistas, ou seja, áreas com cultivo anual, para pastagem e vegetação nativa, respectivamente.

As classes de adequação do uso da terra em relação ao fator uso mostram que 12,51% da área da bacia apresentam uma baixa adequação de uso em função da menor proteção do solo proporcionada pelo uso com culturas anuais. Com aproximadamente 40% aparecem as áreas com média adequação, associadas ao cultivo de pastagens. Por fim, 47,96% apresenta uma alta adequação de uso definida por uma cobertura mais densa e permanente (vegetação nativa) que, segundo GALETI (1973), BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), LEPSCH (2002) confere uma maior proteção ao solo contra os processos de erosão.

As áreas de restrição associadas aos corpos de água (açudes) e estradas existentes na bacia foram inexistentes.

Figura 11. Mapa de fator uso da terra em classes de adequação de uso agrícola da bacia do Rio Capivara - Botucatu (SP).

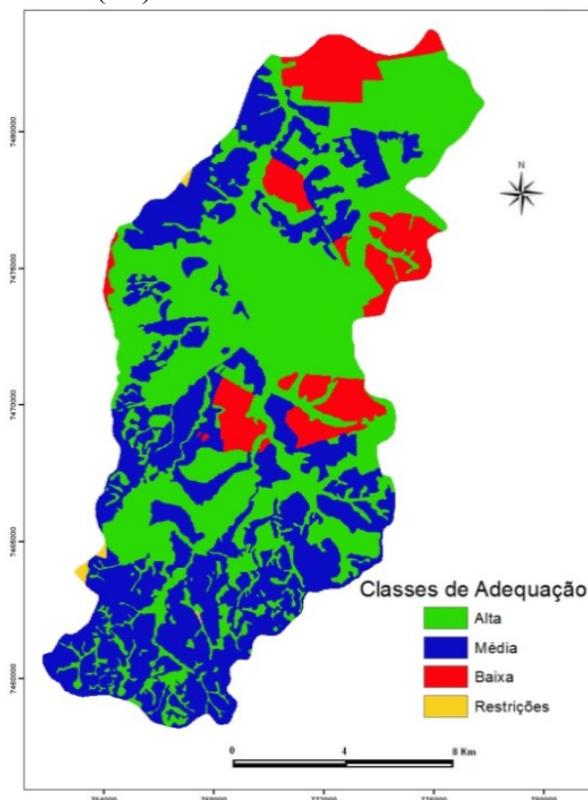


Tabela 7. Classes de adequação de uso em relação ao fator uso da terra da bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP).

Classes de Adequação de Uso	Área	
	Há	%
Alta	11165,23	50,95
Média	8366,17	38,18
Baixa	2380,73	19,08
Restrita	0,00	0,00
Total	21.912,23	100

O mapa de fator capacidade de uso das terras (Figura 12 e Tabela 8) normalizado para escala de zero (0) a 255 *bytes*, representam as classes que variam da mais baixa para a mais alta adequação de uso em relação ao fator capacidade de uso das terras.

A área possui uma boa adequação de uso agrícola (16,42%), porque nesse local ocorrem as melhores terras para o plantio de culturas anuais (espécies mais exigentes com relação à aptidão do solo). Neste caso, subentende-se que, com essa aptidão, as terras também podem ser destinadas para outros usos menos intensivos, tais como: pastagem, silvicultura e preservação da flora e da fauna.

A classe de média adequação de uso corresponde a 64,5% da bacia, a mais significativa, está relacionada às terras que apresentam uma aptidão regular para o cultivo de culturas anuais e limitações moderadas para a produção sustentada, considerando as condições de manejo. Já as terras definidas como de baixa adequação de uso agrícola compreendem 19,08% da bacia e estão associadas à classe de aptidão boa para o cultivo de pastagem plantada, apresentando certa

restrição para um uso mais intensivo. Salienta-se que nessa restrição está sendo analisada apenas a aptidão das terras, sem considerar o manejo.

Figura 12. Mapa de fator capacidade uso das terras em classes de adequação de uso agrícola das terras da bacia do Rio Capivara - Botucatu (SP).

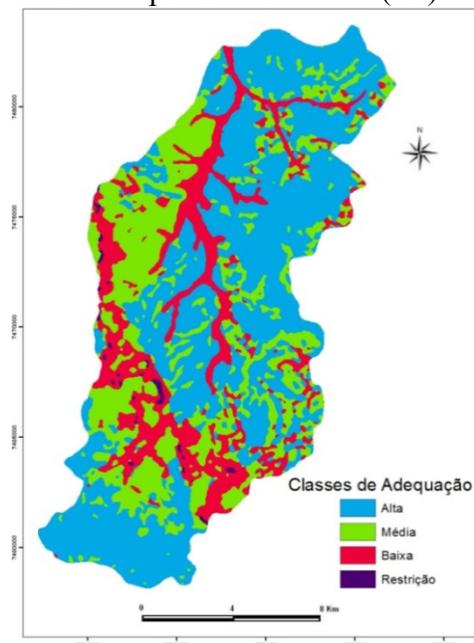


Tabela 8. Classes de adequação de uso em relação ao fator capacidade de uso das terras da bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP)

Classes de Adequação de Uso	Área	
	Ha	%
Alta	3597,92	16,42
Média	114133,98	64,50
Baixa	4180,23	19,08
Restrita	0,00	0,00
Total	21912,23	100

Por fim, a bacia não apresentou área restritiva, porque nesse local as terras não apresentam aptidão para o uso agrícola.

Os pesos de cada fator, calculados a partir da matriz de julgamento (Tabela 9) mostra que a razão de consistência (RC) dos pesos encontrada para este estudo foi de 0,01, indicando que o julgamento apresentou consistência aceitável, ou seja, menor que 0,1 (10%) conforme SAATY e VARGAS (1991).

Tabela 9. Pesos calculados para cada fator a partir da matriz de comparação pareada.

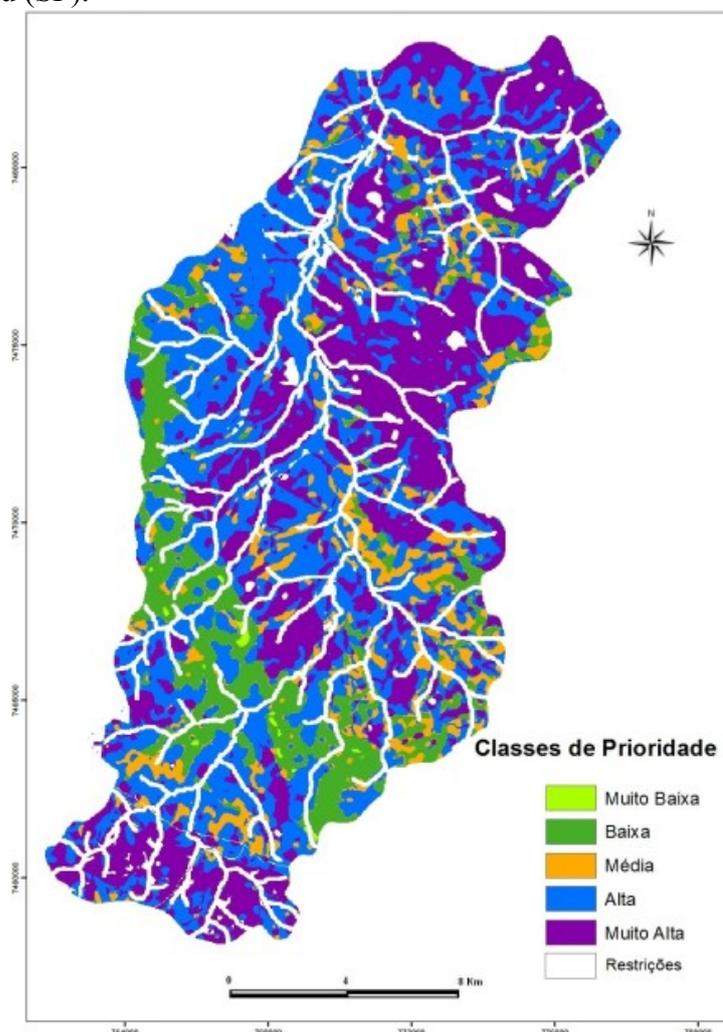
Fatores	Pesos
Uso e ocupação da terra	0.07
Declividade	0.26
Capacidade de uso da terra	0.65
Total	1,00

Os fatores capacidade de uso da terra e declividade apresentaram pesos maiores (0,65 e 0,26) em relação ao uso da terra (0,07). Estes valores refletem os pesos apresentados na Tabela 9, que expressam a importância relativa de cada critério (fatores), analisado neste estudo, para a determinação do grau de adequação de uso das terras da microbacia.

Com o resultado da ponderação relativa entre os fatores, foi possível realizar a avaliação dos multicritérios, utilizando o método de Combinação Linear Ponderada, por meio do módulo *MCE (Multicriteria Evaluation)*, resultando uma imagem de decisão padronizada na escala de valores de 0 a 255, que representam o grau de adequação de uso das terras, descrita no item a seguir (4.4).

Este item apresenta a análise do mapa de adequação de uso das terras para a exploração agrícola, resultante da avaliação conjunta entre os múltiplos critérios ambientais adotados para o propósito deste estudo.

Figura 13. Mapa de classes de adequação de uso agrícola das terras da bacia do Rio Capivara - Botucatu (SP).



Como resultado da combinação entre os critérios (fatores e restrições), obteve-se um mapa que representa uma superfície de adequação, com valores variando de zero (0) a 255, sendo zero (0) o valor de restrição total à exploração agrícola das terras, aumentando gradativamente até 255, valor de alta adequação para o mesmo fim.

Tabela 10. Classes de adequação de uso das terras da bacia do Rio Capivara - Botucatu (SP).

Valores de adequação	Classes de Adequação de Uso	Área	
		ha	%
0 – 52	Restrita	57,57	0,26
52 – 103	Muito Baixa	2372,98	10,83
103 – 154	Baixa	1775,87	8,11
154 – 205	Média	7941,78	36,24
205 – 255	Alta	6620,92	30,22
255	Muito alta	3143,01	14,34
Total	Total	21912,13	100

As áreas determinadas como de alta adequação de uso agrícola (Figura 13 e Tabela 10) apresentam-se distribuídas ao longo de toda bacia, mais concentradas na parte sudoeste. As áreas de média adequação ocorrem nas porções leste, oeste e sul. Já, as áreas definidas como de baixa adequação, aparecem distribuídas ao leste, oeste e sudeste da bacia, sendo que sua maior concentração ocorre na porção norte, onde o relevo varia de ondulado, forte ondulado a montanhoso.

Os dados mostram também que 44,56% da bacia têm uma alta adequação de uso agrícola; 36,24% média, 8,11% baixa e 0,26% restrita e que 10,98% da área foi estabelecida como de muito baixa adequação (valores de 52 a 103). Neste caso, o valor atribuído ao fator capacidade de uso das terras (valor 0) influenciou fortemente o resultado, uma vez que as terras ocorrentes nessa região, pertencem à classe de aptidão 6, ou seja, inaptas para uso agrícola. Entretanto, algumas dessas áreas apresentam uso adequado quanto à cobertura vegetal (vegetação nativa), foram classificadas como de baixa adequação de uso agrícola em função da aptidão, nestes locais, apresentar valor zero (0).

As áreas consideradas de alta capacidade de uso das terras coincidem com as terras pertencentes às classes de capacidade de uso I, II e II (Lepsch et al., 1991). O mapa de capacidade de uso das terras, quando comparado ao de declividade, permite verificar que, nessas áreas, a declividade varia de plana a moderadamente ondulada (declive de 0 a 12%), consideradas, portanto, de alta adequação para a exploração agrícola das terras.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir quanto ao fator capacidade de uso das terras, que grande parte da área da bacia (76,92%) apresentou uma alta e média grau de adequação de uso, ou seja, são terras apresentam potencialidades para o plantio de culturas anuais e permanentes.

A área de estudo (87,49%) apresenta um relevo que varia de plano a moderadamente ondulado, considerado de alta adequação para o uso agrícola, por não apresentar impedimento à mecanização e baixa susceptibilidade à erosão.

O alto grau de adequação de uso conferido a maior parte das terras da bacia, em termos de cobertura vegetal, pode ser atribuído ao plantio intensivo com cultura anuais e permanentes, uma vez que confere ao solo uma menor proteção contra a erosão.

Os critérios ambientais, utilizados neste estudo, mostraram-se adequados para a combinação e análise multicriterial, permitindo a elaboração do mapa final contendo diferentes classes de adequação de uso agrícola.

O sistema de informação geográfica Idrisi Selva aliado a técnica de análise de multicritérios e ao método de combinação linear ponderada mostrou ser uma ferramenta eficiente na combinação dos diferentes critérios, permitindo a determinação da adequação do uso agrícola das terras de forma menos subjetiva.

A integração dos critérios num único mapa permitiu a análise global de todos os fatores facilitando a tomada de decisão sobre o melhor uso dado a terra possibilitando, de forma, escolha mais racional do ponto de vista ambiental.

7 REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BRASIL. Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Código florestal. 1965**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama>> Acesso em 06 de outubro de 2005
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press Inc. 1998. 333p.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 303, de 20 de março de 2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>> Acesso em 06 outubro de 2005.
- DONHA, A. G.; SOUZA, L.C.P.; SUGAMOSTO, M.L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Iraí-PR. v.10, n.1, p.175–181, 2006.
- DÉSTRO, G. F. G.; INOJOSA, F.C.P.; DIAS, J.; BOTTURA, G. **Áreas de risco ambiental por barragens no Estado de Minas Gerais**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, 2009, p. 5193-5200.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark University, 2003. 328p.
- GALETI, P. A. **Conservação do solo: reflorestamento – clima**. 2 ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 286p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas do Brasil**. Superintendência de Cartografia do Ministério do Planejamento e Coordenação Geral do Brasil. Folha de Botucatu – SP, 1969.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. p.50-66.
- LEPSCH, J. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.175 p.

NOSSACK, F.A.; ZIMBACK, C.R.L.; SILVA, R.F.B.; SARTORI, A.A.C. Aplicação de análise multicriterial para determinação de áreas prioritárias à recomposição florestal. **Revista Irriga**, Botucatu – SP, v.19, n.4, p.612–625, 2014.

PIROLI, E.L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu – SP**. Botucatu, 2002, 108f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. L. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.

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

SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p.

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

SARTORI, A.A.C.; ZIMBACK, C.R.L. Recomposição florestal visando a conservação de recursos hídricos da bacia do Rio Pardo. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu – SP, v.26, n.4, p.43-53, 2011.

ZHU, X.; DALE, A. P. JavaAHP: A Web-based decision analysis tool for natural resource and environmental management. **Environmental Modelling and Software**, Australia. v.16, n.3, p. 251-262, 2001.