

Análise Parcial da Fragilidade Ambiental do município de Cachoeira Paulista – São Paulo
pelo uso do método de Auxílio Multicritério à tomada de Decisão

Marcelo Cardoso da Silva Bandoria ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
marcelo.bandoria@inpe.br

Abstract: This work is based on the use of the AHP (Analytic Hierarchy Process) since the use of the methodology of geosystems involves the correlation of several factors of the territory and leads us to the difficult task of qualifying the weights of each variable in the proposed modeling. The spatial correlation of factors was obtained by map algebra and by weighted average, with the weights obtained by AHP, thus giving support to decision making, in the delimitation of priority area, with environmental fragility in evidence in the city of Cachoeira Paulista – São Paulo, valley of the river Paraíba do Sul.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental, Vulnerabilidade Ambiental, AHP, Auxílio Multicritério à tomada de Decisão.

1. Introdução

O processo de intervenção humana na paisagem ao longo da ocupação e uso do solo gerou indiscutivelmente mudanças significativas na dinâmica natural entre os ecossistemas e suas características genéticas. Ao longo do tempo o resultado é um quadro de transformações diversas no processo de rearranjo territorial principalmente voltada a alta exploração dos recursos naturais para uma lógica econômica exploratória sem estratégia sustentável. Esse processo vem promovendo um desajuste enorme no equilíbrio ecodinâmico das paisagens, onde o desenvolvimentismo econômico atrelado as mudanças tecnológicas de intervenção, têm provocado diversos impactos irreversíveis em muitos casos nos últimos anos em diversas paisagens do Brasil. O debate colocado seria entender qual tipo de intervenção seria adequada para o futuro das atuais e novas gerações, considerando responsabilidades vão além da esfera individual e a escala local e se estendem a todos os habitantes desse país, portanto é necessário repensarmos o caminho do desenvolvimentismo

sem estratégia de sustentabilidade que se fecha apenas aos aspectos econômicos para aquele que considera a fragilidade e limites ambientais naturais intrínsecas da coesão da paisagem.

O processo de análise integrada é um caminho dialético e sistêmico e julgado aqui como importante para compreensão desse processo que é dinâmico e entrelaçado por diversas variáveis naturais e econômicas, quantitativas e qualitativas, portanto complexas, assim a mesma foi utilizada como possível para interpretação desse processo, onde deve-se levar em conta o máximo de possibilidades críticas e ambientalmente coerentes para a geração de modelos de intervenção na paisagem voltados para o planejamento territorial estratégico.

As origens dessas mudanças são diversas, mas sem dúvida de modo geral, as revoluções técnico-científicas tem um papel importante na ampliação das possibilidades de condições de vida da população pelo caminho do consumismo desenfreado e desarmônico com o ambiente natural, ponto crítico que não irei desenvolver nesse trabalho, mas que no horizonte estabelece as chaves de compreensão para se questionar sobre o caminho perverso da economia globalizada em desarmonia ao processo de desenvolvimento sustentável, mas aqui o objetivo é destacar que em algumas regiões do mundo há a concentração e equilíbrio e em outras desarranjos e desigualdades. Em diversos países essa última tem sido a lógica predominante, que no limite, vem provocando o aumento populacional e gerando o aumento de demandas por mercadorias e exploração de recursos energéticos, sem o aumento proporcional de estratégias de manutenção das bases territoriais naturais, prevalecendo a produção que não possui limites gerando a intensa exploração ambiental num ciclo que desconsidera os limites e finitude dos substratos naturais.

No Brasil é significativo como amostra deste processo, pois possui o status de ser um grande agroexportador que vem sendo espaço de negócios e experiências pela aplicação da revolução técnico – científica (revolução verde) na produção do campo desde a década de 50, e hoje batendo recordes de produção monocultora na exportação de grãos, tipicamente a soja, tendo o destaque no contexto da América do Sul, que na atual conjuntura atende aos mercados estrangeiros, e com outros alimentos e matérias primas de baixo valor agregado, fruto dentre tantas questões, de um sistema político – econômico nacional atrasado gerido por uma mentalidade de casa grande e senzala que ainda não foi superada desde o período da relação colônia-metrópole.

A área cultivada pela exploração agrícola ininterrupta no decorrer do tempo desde a colonização e os diversos ciclos econômicos que perpassaram pela exploração do solo no país, evidenciou pouca ou nenhuma atenção às suas fragilidades e vocações desmedidas tem

causado impactos em muitas regiões, perda de solos, áreas florestais, ambientes de preservação, áreas de manguezais, sobretudo de domínios morfoclimáticos importantes para o equilíbrio geossistêmico da paisagem. Portanto, em decorrência das diversas mudanças, mas sobretudo daquelas destacadas, com a evidente ampliação do eixo agrícola nacional, da ampliação contraditória do capita nas diversas regiões, geram-se vários problemas, e torna-se cada vez mais urgente, o planejamento físico territorial, para que sejam levadas em consideração não apenas as potencialidades, mas principalmente as fragilidades das áreas pelo viés estratégico ecológico e de recuperação da paisagem.

A metodologia de obtenção da fragilidade parcial de uma determinada área é conceituada como sendo a vulnerabilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade e o tipo de solo, enquanto que a fragilidade emergente ou ambiental, além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente. Diversos estudos de fragilidade ambiental no Brasil têm sido desenvolvidos considerando as variáveis solo e relevo combinados com os tipos de uso e cobertura da terra sob a abordagem da álgebra de mapas booleana (ROSA e ROSS, 1999; SPÖRL e ROSS, 2004; MASSA e ROSS, 2012; OLIVEIRA et al., 2012).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fragilidade ambiental do município de Cachoeira Paulista - SP, apoiado pela álgebra de mapas e pelo método de auxílio multicritério a tomada de decisão – AHP, considerando o método de médias ponderadas pelos resultados da AHP por meio dos dados de vulnerabilidades naturais obtidos de órgãos ambientais brasileiros e levantamentos de estudos diversos, que correlacionados poderiam responder onde estariam as melhores áreas para um projeto de recuperação ambiental florestal, ou processo de revegetação planejado por meio de informações associadas, que reduziriam os gastos e o tempo com a implementação devido os resultados dessa estratégia, visando a recuperação de áreas degradadas, por meio do uso de sistemas de informação geográfica que gere informações modelas como suporte ao ordenamento físico-territorial.

2. Procedimentos Metodológicos

A fundamentação teórico-metodológica que subsidiou o emprego das geotecnologias no diagnóstico e prognóstico ambiental da área se apoiou na análise integrada do ambiente, pautada na concepção das Unidades Ecodinâmicas, preconizadas por Tricart (1977) e Ross (2006). Este procedimento fundamenta-se na análise da fragilidade empírica proposta por

Ross (1994), apoiado no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos. As unidades de fragilidade dos ambientes naturais foram mapeadas como resultantes dos levantamentos básicos de declividade, solos, geologia, hidrografia e uso da terra destacando a cobertura vegetal. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico preliminar parcial das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais para a área de estudo.

Os pesos estabelecidos para cada classe de fragilidade mapeada para pedologia e geologia, cruzados com declividade (geomorfologia), foram adaptados das propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001), no que diz respeito a pedogênese/morfogênese e por meio de conhecimentos adquiridos ao longo de uma formação técnica de geografia, e também pela discussão com colegas especialistas de diversas áreas do conhecimento no INPE.

2.1 Atribuição de pesos para as classes do modelo

Figura 1: Vulnerabilidade para classes de correlação entre Pedologia, geologia e declividade.

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: (Crepani et al. 2001, pg.21)

Figura 2: Vulnerabilidade para classes de Geologia

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: (Crepani et al. 2001, pg.74)

Com base nessa referência estabelecemos os pesos para nossas classes de unidade/tipo geológico da área de estudo (Nome e Lito tipo predominante: peso de vulnerabilidade).

- Embu (Mica Xisto, Quartzito Xisto): 1,7
- Granito Lagoinha (Biotita Granito): 1,7
- Resende (Conglomerado, Arenito): 2,5
- Paragnáissica (Biotita Gnaisse): 1,7
- Depósitos aluvionares (Areia e Cascalho): 2,5
- Granito Quebra cangalha (Biotita Granito): 1,7
- Varginha (Migmatito): 1,3

Figura 3: Vulnerabilidade para classes de declividade

CLASSES MORFOMÉTRICAS	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 –20	2,0
Alta	20 - 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

Fonte: (Crepani et al. 2001, pg.80)

Figura 4: Vulnerabilidade para classes de Solos

CLASSE DE SOLO	LEGENDA	VULN/ ESTAB.
LATOSSOLOS:AMARELO LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO LATOSSOLO ROXO LATOSSOLO BRUNO LATOSSOLO HÚMICO LATOSSOLO BRUNO-HÚMICO	LA LV LE LR LB LH LBH	1,0
PODZÓLICO AMARELO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO TERRA ROXA ESTRUTURADA BRUNO NÃO-CÁLCICO BRUNIZÉM BRUNIZÉM AVERMELHADO PLANOSSOLO	PA PV PE TR NC B BA PL	2,0
CAMBISSOLOS	C	2,5
SOLOS LITÓLICOS SOLOS ALUVIAIS REGOSSOLO AREIA QUARTZOSA VERTISSOLO SOLOS ORGÂNICOS SOLOS HIDROMÓRFICOS GLEI HÚMICO GLEI POUCO HÚMICO PLINTOSSOLO LATERITA HIDROMÓRFICA SOLOS CONCRECIONÁRIOS LATERÍTICOS RENDZINAS AFLORAMENTO ROCHOSO	R A RE A V HO HI HGH HGP PT LH CL RZ AR	3,0

Fonte: (Crepani et al. 2001, pg.86)

Dessa forma, com base nessa referência atribuímos os seguintes pesos de vulnerabilidade às classes de solos presentes no modelo:

- Latossolos: 1
- Gleissolos: 3
- Cambissolos: 2,5
- Argissolos: 1

Para o estabelecimento da Vulnerabilidade para classes de Uso do Solo considerando a referência estabelecida por (Crepani et al. 2001, pg.88), tivemos a atribuição dos pesos 1 para floresta e 3 para uso agropecuário. Nas áreas urbanas consideramos alta vulnerabilidade para o modelo, ou seja 5, mas não refinamos nosso modelo para discutir a complexidade dessa classe. Para valores de água não obtivemos uma correlação estabelecida, portanto não foi considerado no modelo final.

Portanto para um diagnóstico que envolve diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes, é preciso realizar um estudo integrado do meio físico aliando suas características de uso e ocupação, resultando, por meio das ferramentas do Sistema de Informação Geográfica (SIG), em um mapa de fragilidade ambiental parcial. Essa tecnologia admite uma avaliação integrada de diversas variáveis de forma simplificada, permitindo a geração de informações intermediárias e finais rapidamente. Assim, seu amplo uso em diferentes setores caracteriza essa técnica como uma importante ferramenta no planejamento ambiental (DONHA et al., 2006).

2.2 Dados Utilizados

Os produtos deste trabalho foram gerados por meio dos dados obtidos por agências especializadas no levantamento e produção de dados e informações geográficas e foram essenciais para o suporte e produção do mesmo. Por meio do cruzamento e utilização das bases geradas por essas agências públicas e privadas foi possível realizar o processamento pelo uso de Sistemas de Informações Geográficas, por meio de dados e softwares abertos e gratuitos, o que evidencia a importância das ferramentas e da produção de dados e informações públicas para atender a demandas também de caráter público. Os dados foram obtidos dos seguintes órgãos/instituições:

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Base Cartográfica Contínua – 250), neste órgão foi utilizado dados da Hidrografia do Brasil – 2017.

- Data Geo – Infraestrutura de dados Ambientais e territoriais do estado de São Paulo. A IDEIA-SP viabiliza a disponibilização de uma Base de Informação Territorial Ambiental padronizada e qualificada para apoiar as ações de Licenciamento, Fiscalização, Planejamento e Gestão em suas análises e tomadas de decisão. Neste órgão foi utilizado dados de pedologia do Estado de São Paulo na escala de 1:50000.
- O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, que foram elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. A obtenção de duas cenas de SRTM deste órgão deu suporte para a obtenção da declividade da área de estudo.
- Os projetos de geologia do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, desenvolvidos pelo Departamento de Geologia – DEGEO, têm como objetivo principal cartografar geologicamente o território brasileiro, além de prover dados e informações acerca dos tipos rochosos existentes e da respectiva evolução geológica e estrutural. Assim, o mesmo deu suporte da base de informações geológicas do estado de São Paulo de 2006 e da área de estudo.
- O dado de cobertura e uso do solo foi obtido do projeto Map-Biomas que disponibiliza dados anuais de cobertura e uso do solo para o período 2000 a 2016. Esta coleção é fruto dos primeiros 2 anos de trabalho do projeto e está em constante desenvolvimento. A representação de uso e cobertura e o destaque para a Mata Atlântica da nossa área de estudo saiu dessa fonte de dados, que está em processo de atualização e consolidação, por meio de metodologia complexa de classificação e de cruzamentos de índices obtidos por imagens de satélites e diversas outras ferramentas de sensoriamento remoto.

2.3 Método de auxílio multicritério à tomada de decisão.

O método de Análise Hierárquica de processos, (AHP – Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty na década de 70, sendo conhecido como método de análise, amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão em problemas com múltiplos critérios, por meio de valores qualitativos e quantitativos. Ao longo dos últimos

anos o mesmo é aplicado em diversas situações em que há necessidade de definição de prioridades entre variáveis complexas, desde avaliação de custos e benefícios, alocações de recursos, medidas de desempenho, pesquisa de mercado e neste caso ao ajuste de modelo de fragilidade ambiental voltado a necessidade de recuperação por meio da seleção de áreas prioritárias para a revegetação no município de Cachoeira Paulista.

Um das dificuldades apontadas no método AHP é a quantidade de comparações paritárias necessárias que cresce rapidamente com o tamanho da matriz, dependendo da complexidade da hierarquia. Outra crítica comum é sobre o efeito de reversão de ordem de prioridade, que ocorre com a alteração das alternativas dominantes em função da inclusão ou exclusão de alternativas irrelevantes.

Por meio de teorias e estudos em psicologia Saaty (1980) concluiu que o ser humano não é capaz de avaliar de forma paritária com índices acima de 9, e dessa forma propôs uma escala de avaliação que determina o grau de importância na comparação “par a par” de cada informação cruzada no modelo, por meio dela realiza-se atribuição de pesos pelo analista.

Figura 5. Grau de Importância na avaliação

Grau de importância	Relação	Descrição
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: (Dias et al. 2014, pg. 9)

Neste trabalho realizou-se uma busca pelos qualificadores que ajudariam a escolher os pesos dessa escala para cada critério escolhido. Dessa forma para cada classe utilizada nos diversos planos de informações, sob o acúmulo bibliográfico, foi possível ter uma prévia de critérios e de pesos adequados para diferentes classes utilizadas como base no processo de construção do modelo.

A correlação entre esses pesos voltadas ao estudo de fragilidade ambiental, estabelecidas numa escala de 1 a 9 por números inteiros, possibilitou a obtenção de um índice de coerência nos diferentes domínios cruzados, e uma razão de coerência, por meio do método AHP, para depois utilizarmos os resultados na álgebra de mapas, ponderando as mesmas e obter significado na síntese que represente razoavelmente o grau de fragilidade ambiental natural parcial da área de estudo, possibilitando a tomada de decisão para a recuperação de áreas naturais.

Conforme a Tabela 1 abaixo realizou-se a comparação pareada por meio de uma matriz, onde se indicou a importância de uma classe sobre a outra com relação ao critério, para estabelecimento do cenário, considerando a escala fundamental de Saaty (1980) e por meio dos cálculos do auto vetor, autovalor e do índice de coerência e razão de coerência.

Tabela 1. Matriz de Comparação Pareada (pesos e resultados para obtenção de IC e RC)*

	Critérios e seus respectivos pesos atribuídos				Auto Vetor	Normalização	Auto Valor	λ_{max}
	C1	C2	C3	C4				
C1	1	0,5	9	9	2,5226	39,48%	3,222	1,272
C2	2 (dúvidas)	1	7	7	3,1463	49,24%	1,786	0,8794
C3	0,111 (espelho)	0,143 (Espelho)	1	2	0,4221	6,60%	17,5	1,155
C4	0,111(espelho)	0,143 (Espelho)	0,5	1	0,2984	4,67%	19	0,8873
Observações:	A teoria do Auto vetor se aplica pela obtenção da média geométrica das linhas							
Legenda	Normalização se obtêm pela divisão do valor de cada MG das linhas pela soma de todas as mesmas							
C1 - Declividade	o Auto Valor é obtido pela soma das colunas							
C2 - Geologia	O λ_{max} é resultado da multiplicação do Auto vetor normalizado pelo auto valor							
C3 - Pedologia	IC = $\lambda_{max} - n / n - 1$							
C4 - Uso do Solo	RC = IC / IR, onde Índice Randômico é para (n=4) igual a 0,9							

Fonte: Elaborado pelo autor

IC - Índice de Coerência = 0,06266

Razão de Coerência = 0,06962

Condição de mínima coerência para o modelo: (< 10% para IC e RC)

Pesos gerados por combinação linear ponderada, para cada critério obtido pelo método AHP.

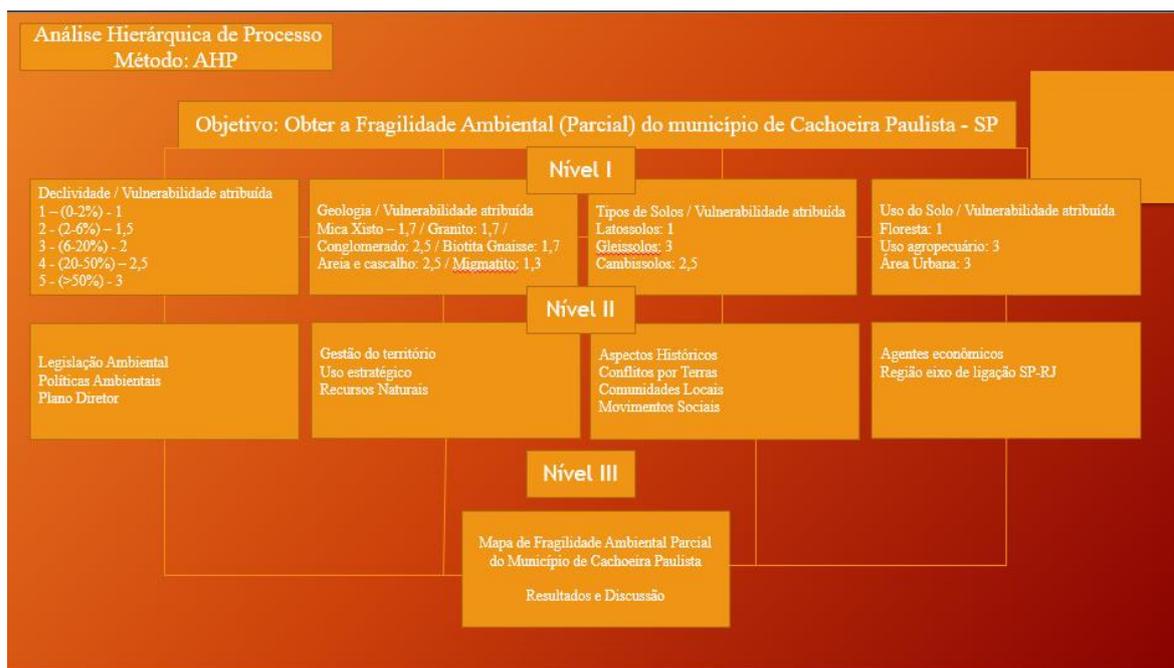
- Declividade: 0,395
- Geologia: 0,487 (maior peso no modelo)
- Pedologia: 0,069
- Uso e Cobertura: 0,049

* Observações: Os Julgamentos predominantemente para atribuição dos pesos, foram aplicados à estrutura física, pois o objetivo do trabalho foi tentar estipular as melhores áreas para a recuperação ambiental que poderia atender tanto a revegetação, quanto a regeneração

ambiental – por meio de uma espacialização que expresse a fragilidade ambiental da área e direcione a tomada de decisão, ou a escolha refinada da área. Porém para representação da hierarquia levamos em conta a atribuição subjetiva do analista e seu arcabouço de conhecimentos que direcionam qualitativamente sua análise e destacamos sua importância.

2.4 Hierarquia do modelo – Fragilidade Ambiental parcial

(Aspectos Quantitativos e Qualitativos)



Fonte: Elaborado pelo autor

2.5 Álgebra de Mapas

Para chegarmos a essa etapa tivermos que basicamente percorrer dois níveis anteriores. No primeiro momento definimos o propósito geral, ou seja, nosso objetivo a ser buscado com o desenvolvimento do trabalho. No momento intermediário definimos os critérios e por meio do método AHP obtivemos uma coerência de pesos atribuídos para cada critério com um índice de coerência aceitável. Agora por meio dos pesos atribuídos realizaremos a etapa de confecção do produto de SIG final por meio da álgebra de mapas.

Baseada na metodologia utilizada por Crepani *et al.*, (2001), aplicou-se a Média aritmética ponderada (*Raster Calculator*) dos pesos (*W*) obtidos para os atributos temáticos, que resultou no Mapa Síntese de Fragilidade Ambiental parcial da área de pesquisa. Só sendo possível após a obtenção dos índices de coerência de cada critério realizados por meio do método AHP, e por meio de uma abordagem multicritério denominada Combinação Linear Ponderada. Com os pesos estabelecidos utilizamos a calculadora raster para efetuar a álgebra

de mapas por meio da seguinte lógica que expressa uma média ponderada, onde pudemos obter o mapa de fragilidade parcial, conforme mostra a equação 1:

$$M. ponderada = \frac{("Critério A" * "peso obtido AHP" + "critério n" * "peso n obtido AHP")}{n^{\circ} \text{ total de critérios utilizados}} \quad (1)$$

3. Área de Estudos: Município de Cachoeira Paulista – SP

Localização: Vale do rio Paraíba do Sul



Fonte: Google Earth

Aspectos Fisiográficos do Município

3.1 Clima

O contexto climático regional se caracteriza por condições atmosféricas influenciadas pelas correntes do leste, pela convergência intertropical e pelas frentes polares, que apresentam como resultante abundantes chuvas, gerando índices pluviométricos que oscilam entre 1.500 e 2.000 mm/ano, mas que podem ser maiores nas áreas serranas escarpadas das serras do Mar e Mantiqueira e ultrapassar os 4.000 mm/ano, com o período chuvoso distribuído ao longo do ano e menos intenso nos três meses de inverno.

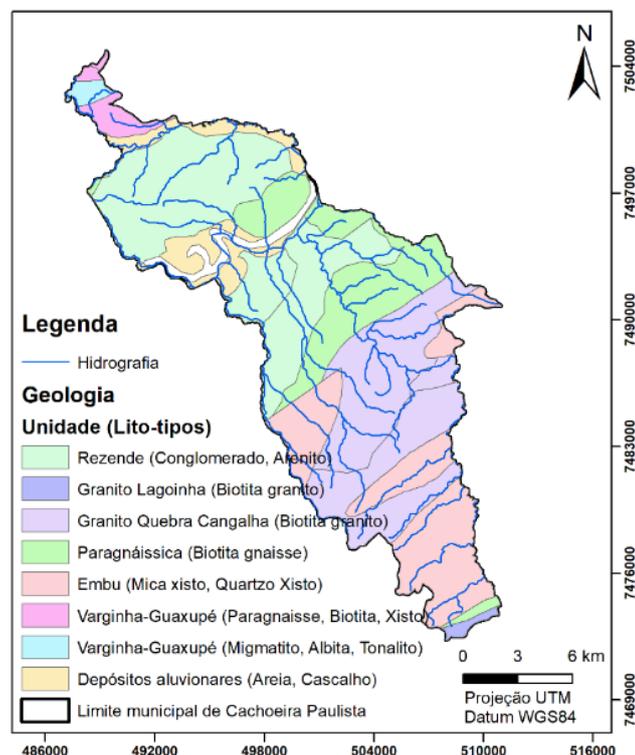
3.2 Geologia

A estrutura geologia do município de Cachoeira Paulista do Estado de São Paulo encontra-se no contexto da macroestrutura da unidade geomorfológica dos planaltos e Serras do Atlântico leste-sudeste que possui predominantemente as formas de relevo que abrange (serras e morros alongados, relevo montanhoso – batólitos – Escarpas estruturais/falhas –

Superfícies de morros de topos convexos – Depressões tectônicas cenozoicas) - (ROSS, 2009) com uma altitude que varia de 600-1500 metros.

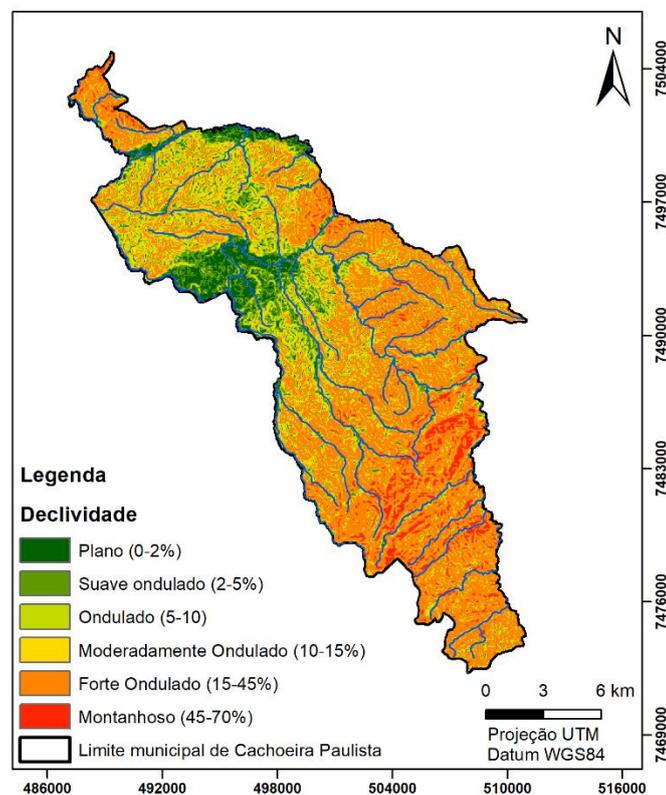
Os cinturões orogênicos são predominantemente cobertos de falhas e dobramentos muito antigos do pré-cambriano e mesmo atualmente sendo muito desgastadas por diversas fases de erodibilidade, apresentam aspecto serrano, área definida por Ab´Sáber (1966) como o “domínio dos mares de morros”, em grandes extensões que compreende o vale do Paraíba, portanto nossa área de estudo. O cinturão orogênico do Atlântico apresenta nos trechos mais elevados rochas do tipo quartzito, já as cristas serranas estão mais preservadas, e são constituídas de escarpas altas e por grandes linhas de falhas. Os trechos mais elevados são resultantes de dobramentos e falhamentos extensos e das grandes massas intrusivas, como o caso do maciço do Itatiaia. Portanto, predomina na região feições oriundas de ciclos de dobramentos, acompanhados de metamorfismos regionais, falhamentos e extensas intrusões, oriundas do Pós-Cretácio que perdurou pelo Terciário-Quaternário e gerou o soerguimento da plataforma sul-americana, produzindo escarpas acentuadas, como as serras do Mar e da Mantiqueira, e fossas tectônicas, como as do médio vale do Paraíba do Sul.

A litologia predominante na região é composta de rochas metamórficas como gnaisses, migmatitos, micaxistos, filitos, carbonáticas e massas intrusivas de granitos e sienitos. (ROSS, 2009), conforme mostramos no mapa abaixo:



3.3 Declividade

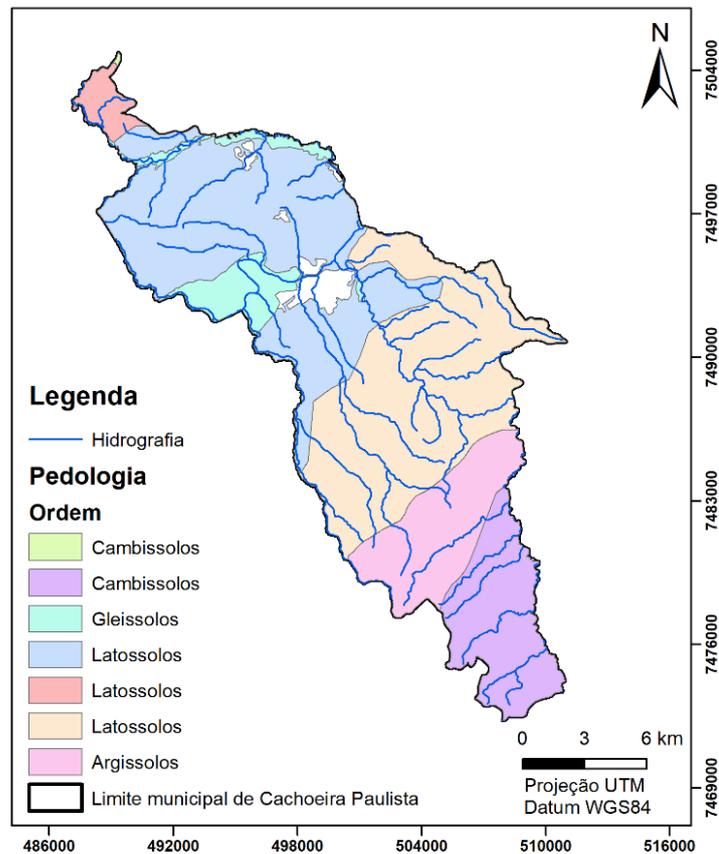
Dado extraído da base disponibilizada de SRTM. Com uma classificação feita com a fusão de referência do INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária e adaptado de Igo F. Lepsch, pode-se obter um mapa de declividade, caracterizando nossa área nos aspectos do relevo e suas diferentes altimetrias, conforme mostramos no mapa abaixo. Podemos observar que o relevo tem predominância de áreas que possuem declividade média, considerada suave e moderadamente ondulado, mas com a presença de áreas planas na direção do vale, que corta a área de sudoeste-nordeste e produz essa distribuição de desnível pela declividade apresentada.



3.4 Solos

A grande complexidade da região do ponto de vista geológico e geomorfológico é mantida com o aspecto pedológico, onde são presentes solos do tipo: neossolos litólicos, neossolos câmbicos, argissolos vermelhos, afloramentos rochosos e latossolos vermelhos-amarelos alguns expressos no mapa abaixo. Há portanto predomínio dos tipos de solos: latossolos vermelho-amarelos distróficos (latossolos amarelos), podzólicos vermelho-amarelos distróficos (argissolos vermelho-amarelos), cambissolos háplicos, neossolos

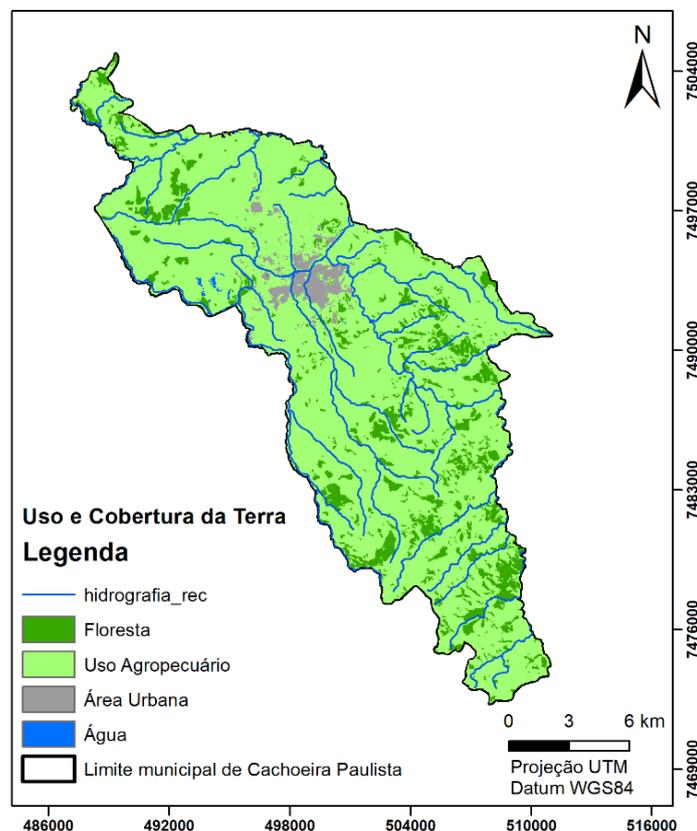
litólicos e afloramentos rochosos. Nas escarpas de serras do Mar e Mantiqueira dominam os cambissolos e neossolos háplicos. (ROSS, 2009)



3.5 Uso e Ocupação do Solo

Essa região está classificada por ROSS (2009) no Mapa dos Sistemas Ambientais Naturais do Brasil como o *domínio da floresta de encosta e semidecidual do planalto atlântico*, dentro do grupo de *sistemas naturais fortemente transformados pelas atividades humanas*. Destaca-se portanto, a intensa exploração dos solos pela atividade agropecuária na região que é historicamente de ocupação próxima do litoral, onde as áreas foram intensamente transformadas em campos de pastagens cultivadas, campos de agricultura e silvicultura, gerando enormes impactos na floresta atlântica, região hoje com o maior adensamento populacional e urbano, onde está localizada nossa área de estudo, sendo o eixo de ligação em processo de conurbação entre as duas maiores e mais desenvolvidas cidades do país, região denominada por SANTOS (1996) de região de intensa concentração de meios técnicos-científicos-informacionais.

A floresta tropical atlântica corresponde a uma extensa área do litoral desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul, oriundas da correlação de fatores de clima e solos e tempo geológico, possibilitou o desenvolvimento de uma densa floresta perenifólia higrófila exuberante com cinco ou mais estratos vegetais e o dossel emergente que atingia 30m de altura. A cobertura vegetal natural quase totalmente modificada ao longo dos cinco séculos de ocupação efetiva da região hoje apresenta cerca de 10% e 15% da área de cobertura de floresta primária e principalmente de matas secundárias que são oriundas de processos espontâneos de autorregeneração, principalmente nas áreas de relevo de difícil acesso e nas unidades de conservação criadas pelos órgãos de governo. (ROSS, 2009)

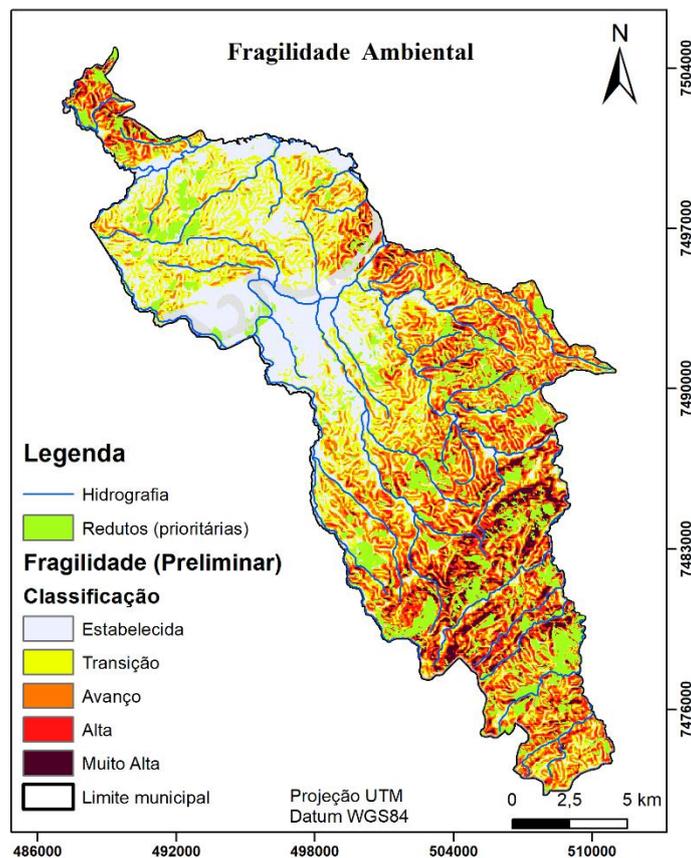


4. Mapa de Fragilidade Ambiental

A busca pela definição e redução de desvios no modelo teve, como já dito, a busca pela definição de áreas prioritárias, por meio de indicativos consistentes para o desenvolvimento de um projeto de recuperação e reflorestamento/revegetação, associado a um planejamento territorial, ou seja, o levantamento de subsídios de suporte à tomada de decisão, por questão de objetivo necessariamente teve que estar associado a uma conectividade entre os

fragmentos florestais (redutos de florestas Atlântica), ou pela formação de corredores ecológicos no contexto da floresta residual

Utilizando a abordagem multicritério e a Combinação Linear Ponderada por álgebra de mapas e pela definição dos critérios buscados na literatura, obtivemos os pesos de fatores parciais quantitativos/qualitativos considerados importantes ao objetivo do trabalho como sendo: estrutura física do terreno associada a dados de declividade, geologia, tipos de solos, julgadas intrínsecas na análise e de pesos significativos para o modelo, associados ao uso da cobertura, obtivemos uma prévia de fragilidade ambiental que pode ser o começo de uma delimitação de prioridades para a tomada de decisão. O produto cartográfico abaixo expressa o resultado obtido neste trabalho.



5. Resultados e Discussão

A análise integrada da paisagem, oriunda do recorte transversal de uma bacia hidrográfica importante para a região, caracterizada como região de alta transformação antrópica, pôde constatar, conforme observamos no mapa de fragilidade ambiental parcial acima, que as áreas de recuperação florestal seguem uma ordem tópica de importância.

Como resultado esperado oriundos de prioridades sustentáveis, deve-se urgentemente ser implementado um cordão de preservação das áreas de reduto de Mata Atlântica, para que a partir dessas áreas possamos desenvolver uma estratégia de recuperação das de alto nível de fragilidade conforme as localidades destacadas no mapa. Portanto, a necessidade estratégica de recuperação seria na prática iniciada com base na ideia prioritária de preservação das áreas que ainda podem sofrer algum impacto, pois como podemos observar no mapa, há um avanço da ocupação urbana na região.

A partir dessas áreas prioritárias e de forma hierárquica o Estado e o município, conjuntamente com os órgãos ambientais responsáveis, podem criar uma estratégia de controle e manutenção das mesmas em busca da ampliação por meio do reflorestamento controlado, podendo ser por meio dos corredores ecológicos, que associadas as áreas de preservação ambiental, juntamente com as áreas de alto risco de destruição ambiental, destacadas no Mapa de Fragilidade Ambiental, podem controlar e possivelmente recuperar a vegetação da área. Assim, atuando dessa forma, os resultados servem como norteadores parciais à tomada de decisão na gestão do território do município de Cachoeira Paulista.

Consideramos como qualquer outro modelo que há fatores limitantes por razões diversas, mas sobretudo aqueles da própria natureza teórica da análise (grau qualitativo), visto que na prática tal metodologia exige sua implementação e desenvolvimento de forma interdisciplinar entre diversos analistas, além disso, associadas a outras variáveis, conforme mostra o nível II, destacado na hierarquia de processos, item 2.4, estabelecido na hierarquia por algumas considerações qualitativas de cunho político do projeto.

Além disso, como neste modelo não consideramos os impactos das áreas urbanas como prioridade, mesmo sabendo que as mesmas possuem alta vulnerabilidade e fragilidade e peso significativo para o mesmo, propomos melhorias e ajustes necessários que poderiam ser feitos no decorrer de uma implementação do mesmo, ou na continuidade dos estudos sobre a área, assim procurando melhorias no intuito de ampliar e refinar os resultados obtidos para discutir a complexidade do tema, além de outras variáveis, como a hidrografia e o clima que são determinantes na resultante complexa da análise, e portanto dito isso, consideramos os resultados parciais da realidade.

Considerações Finais

A modelagem aplicada se mostrou satisfatória para o objetivo desse estudo preliminar, a análise hierárquica de processos (AHP) apoiou na atenuação da subjetividade intrínseca na

ponderação dos atributos dos mapas temáticos, a partir da razão de consistência, possibilitando admitir com menos erros a análise final dos resultados do mapa final. Porém, o cruzamento de variáveis foi reduzido a apenas 4 neste estudo de caso por uma questão pedagógica, como já mencionado, outras variáveis deveriam ter sido levadas em consideração, como os diversos outros critérios qualitativos conforme já evidenciados no nível II pelo fluxograma e apresentado no procedimento metodológico. Dessa forma, o modelo e o método foram importantes, mas não respondem a totalidade de aspectos necessários da complexidade dos fenômenos territoriais reais que exigem uma enorme quantidade de variáveis, sendo que muitas delas são complexas e de difícil representação e inserção nos modelos, que diga se de passagem, são limitados, sobretudo no ambiente computacional.

Uma avaliação empírica exige maior nível de conhecimento, recursos e tempo, sobre a área e muita experiência de campo, que neste caso foi substituída aos pesos atribuídos de algumas variáveis físicas buscados na literatura preponderaram sobre o modelo, reduzindo-o a um mero aspecto da realidade, mas poderiam ter sido outras, denominamos de efeito relativo a experiência vivida-empírica, sendo substituída pela observação obtida de outros trabalhos e diversos acúmulos de referências de pesquisadores renomados com vasta experiência de “chão” como o professor/pesquisador Jurandy Sanches Ross e outros citados ao longo do trabalho.

A modelagem final dos dados resultou em um grau de confiança obtido <10%, com a aplicação da razão de consistência, obtida após comparação pareada dos critérios e alternativas julgadas pelo analista, o que apoia a tomada de decisão e reserva uma consistência creditável ao modelo.

Ainda no âmbito de melhorias o estudo da Fragilidade Ambiental pode ser adaptado para uma regionalização do espaço e delimitação de zonas econômicas prioritárias e de vulnerabilidade associadas aos avanços do modelo de exploração desordenado vigente no país em outras localidades.

Por fim, o resultado mesmo que parcial mostra a urgência que esta área demanda, pela necessidade de um contínuo monitoramento para a preservação dos seus recursos naturais remanescentes e manutenção da sua característica ecológica localizada num domínio extremamente destruído pelo chamado desenvolvimento econômico do país, visto estar contida no caminho do processo de conurbação e sofrer grande impacto causado pela ocupação ao longo de todo o vale do rio Paraíba do Sul.

Em suma, como esperado, há prioridades sustentáveis, devendo-se urgentemente ser implementado um **cordão de preservação das áreas de reduto de Mata Atlântica**, para que **a partir dessas possamos desenvolver uma estratégia de recuperação das áreas destruídas e com alto nível de fragilidade conforme as localidades destacadas no mapa**. Portanto, a necessidade estratégica de recuperação seria na prática por nossa proposta de intervenção direta no território, iniciada pela ideia de preservação das áreas que ainda podem sofrer algum impacto, destacadas por áreas em médio e alto grau de fragilidade ambiental como eixo de integração estratégico.

Referências Bibliográficas

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F.; *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

DIAS, V. S. B.; SILVA, A. B.; *AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA)*, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFES, 2014.

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, Campina Grande, v. 10, n.1, p.175-181, 2006.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. *Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento*. In: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais... Goiânia, Brasil, 2005, p. 2203-2210.

ROSS, J. S. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S. *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.8, 1994.

SANTOS, Milton.; *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 4ª edição, 8ª impressão, 2014.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. *Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos*. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, IBGE/ SUPREN, 91 p. 1977.

VALERIANO, M. D. M. *Topodata: Guia Para Utilização de Dados e Modelagem de Dados Topográficos SRTM*, São José dos Campos, SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008.