INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Fluminense

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

BRASIL
GOVERNO FEDERAL

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MODALIDADE PROFISSIONAL

ANÁLISE DA PAISAGEM APLICADA AO MAPEAMENTO DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL: PROJETO PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII – RJ

WILMAR WAN-DE-REY DE BARROS JÚNIOR

MACAÉ/RJ

2017

WILMAR WAN-DE-REY DE BARROS JÚNIOR

ANÁLISE DA PAISAGEM APLICADA AO MAPEAMENTO DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL: PROJETO PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII – RJ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, área de concentração: Sustentabilidade Regional, linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientação: D. Sc. José Augusto Ferreira da Silva

MACAÉ/RJ

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B277a Barros Junior, Wilmar Wan-de-Rey de Barros, 1986-.
Análise da paisagem aplicada ao mapeamento de sensibilidade ambiental: projeto para o planejamento ambiental da Região Hidrográfica VIII – RJ / Wilmar Wan-de-Rey de Barros Junior. – Macaé, RJ, 2017.
70 f.: il. color.

Orientador: José Augusto Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Geodiversidade – Rio de Janeiro (RJ). 2. Impacto ambiental – Avaliação – Ostras, Rio, Bacia (RJ). 3. Impacto ambiental – Avaliação – Macaé, Rio, Bacia (RJ). 4. Sistemas de informação geográfica. 5. Monitoramento ambiental. I. Silva, José Augusto Ferreira da, 1970-, orient. II. Título.

CDD 621.3678 23.ed.

Bibliotecário-Documentalista | Henrique Barreiros Alves | CRB / 6326

Dissertação intitulada Análise da Paisagem aplicada ao mapeamento de sensibilidade ambiental: projeto para o planejamento ambiental da Região Hidrográfica VIII – RJ, elaborada por Wilmar Wan-De-Rey De Barros Júnior e apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovada em 31/10/2017

Banca Examinadora:

.....

José Augusto Ferreira da Silva – Orientador
Doutor em Geografia / Universidade Estadual Paulista – UNESP
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

.....

Jader Lugon Junior – Examinador Interno
Doutor em Modelagem Computacional / Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

.....

Jolnnye Rodrigues Abrahão – Examinador Externo
Doutor em Ciências Biológicas / Universidade Estadual Paulista – UNESP
Secretaria Municipal de Meio Ambiente
Prefeitura Municipal de Rio das Ostras

Dedico esta conquista a toda minha família pelo apoio e encorajamento de sempre. De maneira especial, aos meus pais, por me guiarem ao caminho da honestidade e por toda educação recebida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de usufruir a dádiva da vida, com saúde e euforia.

À minha família, que sempre acreditaram na minha capacidade, e como sempre participando na realização dos meus sonhos. Em especial, aos meus pais, por me oferecerem a oportunidade de estudar, serei eternamente grato por cada sermão, e o melhor de tudo, fonte de amor e carinho.

Aos meus amigos e pessoas queridas que fazem parte da minha vida e que jamais serão esquecidos.

Ao orientador desta pesquisa, o professor José Augusto Ferreira da Silva, manifesto minha gratidão, pela sua competência e profissionalismo, pela sua paciência e dedicação em conduzir com maestria a conclusão deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense (PPEA – IFF), pelo apoio institucional dessa pesquisa e pela qualidade do curso que realizei.

Aos professores e demais membros do PPEA – IFF, pelos préstimos e conhecimentos adquiridos durante o curso. Aproveito para parabenizar a coordenadora do programa, a Professora Maria Inês Paes Ferreira, pela sua dedicação e competência em dirigir este curso.

Aos professores participantes da banca examinadora, Professor Jader Lugon Junior e Jolnnye Rodrigues Abrahão, pela contribuição neste momento tão importante e esperado.

Aos colegas da turma de 2015 do PPEA, pelos momentos memoráveis de descontração, o companheirismo e a união durante o curso foram essenciais para conclusão de mais uma etapa de nossos estudos.

Aos meus colegas e amigos de trabalho da Prefeitura de Rio das Ostras, ao Renato Alves pelas resenhas nos piores e melhores momentos, à Susie Rodrigues minha eterna diretora, ao Ezequiel Moraes pelos conselhos na minha vida profissional, ao Sr. Carlos Oliva pelas ótimas conversas, ao Antônio Carlos pelos momentos de descontração e ao Filipi Peixoto pelo apoio imprescindível no momento em que eu mais precisei da administração da Prefeitura.

E finalmente a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Não importa as ações do homem,
haverá uma outra espécie dominante no futuro.
Resta a humanidade usar sua sabedoria
para que tenhamos um final menos deplorável
e para que o porvir, retarde.

(o autor)

ANÁLISE DA PAISAGEM APLICADA AO MAPEAMENTO DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL: PROJETO PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII – RJ

RESUMO

O planejamento ambiental, que é umas ações voltadas para a sustentabilidade, pode ser conceituado como um processo capaz de facilitar a formulação de diretrizes para realização do desenvolvimento com a devida consideração aos fatores naturais, sociais, ambientais, políticos, econômicos e de governança. Diante do exposto, buscou-se com a presente pesquisa um levantamento conceitual sobre Análise da Paisagem no intuito de compreender a dinâmica entre as unidades territoriais, bem como, a confecção de um mapeamento indicativo de sensibilidade ambiental ao desenvolvimento de atividades econômicas na Região Hidrográfica VIII – RJ. A RH-VIII, conhecida também como Bacia dos Rios Macaé e das Ostras, apresenta um alto grau de degradação ambiental devido a ocupação intensiva de terras impróprias ao uso e a preocupação com a gestão ambiental da região que se manifesta a nível nacional, pois além do abastecimento público, suas águas suprem boa parte das necessidades das indústrias de petróleo instaladas na região. Por serem consideradas excelentes ferramentas para a gestão e planejamento ambiental, o estudo teve como suporte fundamental as Geotecnologias disponíveis. Os dados de caracterização dos aspectos ambientais da área de estudo foram estruturados em banco de dados e a partir do SIG facilitaram a normalização e a ponderação dos fatores. Para a indicação do grau de sensibilidade ambiental, utilizou-se o método de Processo Analítico Hierárquico através da álgebra de mapas – módulo *EasyAHP* suplementar ao software *QGIS* – para qualificação de cada unidade, sendo a superfície resultante fragmentada em cinco classes de sensibilidade para apresentação do mapa final.

Palavras chaves: Geodiversidades. Ecologia da Paisagem. Álgebra de mapas. Geotecnologias. Planejamento Ambiental.

LANDSCAPE ANALYSIS APPLIED TO ENVIRONMENTAL SENSITIVITY MAPPING: PROJECT FOR ENVIRONMENTAL PLANNING OF THE HYDROGRAPHIC REGION VIII-RJ

ABSTRACT

Environmental planning, which is one of the actions geared toward sustainability, can be conceptualized as a process capable of facilitating the formulation of guidelines for the realization of development with due consideration to natural, social, environmental, political, economic and governance factors. In view of the foregoing, this research aimed a conceptual survey on Landscape Analysis in order to understand the dynamics between the territorial units, as well as the preparation of an indicative map of environmental sensitivity to the development of economic activities in Hydrographic Region VIII - RJ. RH-VIII, also known as Basins of Macaé and Ostras rivers, presents a high degree of environmental degradation due to the intensive occupation of lands that are not suitable for use and the concern with the environmental management of the region that manifests itself at a national level. Because beyond public supply, its waters supply a good part of the needs of the oil industries installed in the region. Because they are considered excellent tools for the management and environmental planning, the study had as fundamental support the Geotechnologies available. The characterization data of the environmental aspects of the study area were structured in a database and GIS facilitated the normalization and the weighting of the factors. In order to indicate the degree of environmental sensitivity, the Analytic Hierarchy Process method was used through map algebra - an additional EasyAHP module to the QGIS software - to qualify each unit, and the resulting surface was fragmented into five sensitivity classes for presentation of the final map.

Keywords: Geodiversity. Landscape Ecology. Map algebra. Geotechnology. Environmental planning.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I

Figura 1 – Esboço de uma definição teórica de geossistema 20
Figura 2 – Esquematização do Sensoriamento Remoto 24
Figura 3 – Curvas espectrais da vegetação, da água e do solo 24
Figura 4 – Representação da interação em um ambiente de SIG 25
Figura 5 – Ilustração dos dados que alimentam os SIG 26
Figura 6 – Mapa de localização da região hidrográfica VIII 28

ARTIGO CIENTÍFICO II

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo 47
Figura 2 – Fluxograma metodológico 49
Figura 3 – Representação das cenas utilizadas 51
Figura 4 – Demonstração do deslocamento entre cenas de datas diferentes 51
Figura 5 – Representação gráfica da escala de sensibilidade ambiental 55
Figura 6 – Mapa de sensibilidade ambiental da Região Hidrográfica VIII 61

LISTA DE QUADROS

ARTIGO CIENTÍFICO II

Quadro 1 – Caracterização do sistema RapidEye 50
Quadro 2 – Matriz de confusão das amostras produzidas 53
Quadro 3 – Escala de comparadores de importância relativa 54
Quadro 4 – Valores atribuídos as unidades mapeadas da RH-VIII 55
Quadro 5 – Matriz de comparação pareada 55
Quadro 6 – Peso das classes temáticas 56
Quadro 7 – Classes de fragmentação 56
Quadro 8 – Representação da incidência de cada unidade 57
Quadro 9 – Chave de caracterização das unidades mapeadas 60
Quadro 10 – Quantificação das classes de sensibilidade ambiental 62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
AMC	Análise por Múltiplos Critérios
APP	Áreas de Preservação Permanente
CAD	Computer Aided Design
CBH Macaé/Ostras	Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras
CLP	Combinação Linear Ponderada
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
GPS	Global Positioning System
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
IC	Índice de Consistência
IFF	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
km	quilômetro(s)
km²	quilômetro(s) quadrado(s)
MaxVer	Máxima Verossimilhança
MCP	Matriz de Comparação Pareada
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PAH	Processo Analítico Hierárquico
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RC	Razão de Consistência
RH-VIII	Região Hidrográfica VIII
RL	Reserva Legal
UC	Unidades de Conservação da Natureza
UHE	Usina Hidroelétrica

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ix
LISTA DE TABELAS x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS xi
APRESENTAÇÃO 13
ARTIGO CIENTÍFICO I 15
1. INTRODUÇÃO 17
2. ANÁLISE DA PAISAGEM COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS 19
3. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS 21
3.1. Geoprocessamento 23
3.2. Sensoriamento Remoto 23
3.3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG) 25
4. REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII (RH-VIII) 27
5. GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE APOIO A GESTÃO E PLANEJAMENTO TERRITORIAL 30
5.1. Utilizando o SIG como apoio à tomada de decisão 32
5.2. Análise por Múltiplos Critérios (AMC) 33
6. CONCLUSÃO 34
7. REFERÊNCIAS 34
ARTIGO CIENTÍFICO II 44
1. INTRODUÇÃO 45
2. MATERIAL E MÉTODOS 47
2.1. Caracterização da área de estudo 47
2.2. Materiais 48
2.3. Procedimentos metodológicos 48
2.3.1. Mapa de uso das terras 50
2.3.2. Análise por Múltiplos Critérios – AMC 54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 57
3.1. Caracterização das unidades para padronização dos dados 58
3.2. Mapa de sensibilidade ambiental 60
4. CONCLUSÕES 63
5. REFERÊNCIAS 63
REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES 69

APRESENTAÇÃO

A transformação da paisagem é o principal efeito do desenvolvimento da sociedade humana e vem sendo promovida na ausência de um planejamento de uso racional das terras, seja pela falta de conhecimento ou até mesmo para atender às necessidades básicas. Isso provoca uma série de impactos negativos e interfere severamente no dinamismo dos ecossistemas, bem como na prestação dos serviços ambientais. Dessa forma, as consequências não ficam restritas à comunidade biológica presente, manifesta-se também na qualidade de vida humana de todo o seu entorno (SILVA; TÂNGARI, 2007; MACIEL; LIMA; LIMA, 2012; CORRÊA; SILVA, 2015).

Na Região Hidrográfica VIII (RH-VIII), área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras, houve um processo de exploração intensiva das terras desde a época do Brasil Colônia. O desmatamento de florestas naturais favoreceu o desenvolvimento das atividades e a ocupação humana em áreas impróprias, o que contribuiu bastante para a transformação da paisagem de toda região assim como para a degradação ambiental (MOTÉ; MARÇAL; BONATTO, 2006; CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

Em um país com tamanha extensão territorial, não há dúvida de que existe espaço suficiente para que todos os cidadãos exerçam suas atividades fora das áreas ambientalmente sensíveis. Por isso, com o objetivo de amenizar a ocupação em áreas impróprias ao uso, as autoridades instituem espaços territoriais especialmente protegidos estabelecendo regras e restrições ao uso, como nas: i) Unidades de Conservação da Natureza (UC) – instituída pela Lei Federal 9985/2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza), cuja finalidade é garantir a manutenção da diversidade biológica, a proteção da paisagem natural de beleza cênica e o patrimônio histórico-cultural; e, ii) Áreas de Preservação Permanente (APP) – instituída pela Lei Federal 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro), que além de preservar a biodiversidade também exerce uma proteção voltada aos espaços que possuem uma importância relativa para assegurar o bem-estar das populações humanas (SCHÄFFER et al., 2011).

A preocupação com o ordenamento territorial na RH VIII é notada durante a elaboração do seu Plano de Recursos Hídricos na atividade de “formulação de subsídios para programas de conservação e recomposição da biodiversidade”, onde se destaca a necessidade de um zoneamento, identificando-se as áreas compatíveis com as atividades produtivas, com a conservação e a preservação dos recursos naturais em conformidade com os interesses da sociedade, de forma que sejam respeitados a vocação natural dos ecossistemas e seu potencial

para uso e manejo, levando-se em conta variáveis ambientais e socioeconômicas. As diversas categorias de áreas de manejo foram definidas pelo Plano em: i) áreas para preservação; ii) áreas para conservação; e, iii) áreas de desenvolvimento (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012b).

As Geotecnologias são ferramentas fundamentais nas atividades relacionadas à espacialização geográfica e são imprescindíveis para gestão ambiental, pois concedem subsídios para a análise ambiental e apoio nas tomadas de decisões; possuem uma boa aplicabilidade para o ordenamento territorial. Dentre os métodos possíveis para planejamento territorial, os estudos com maior relevância são aqueles baseados na Análise da Paisagem, conceituada a partir do estudo sobre relacionamento entre unidades de paisagem e sua associação com a sociedade e natureza, tendo como produto final um parecer harmônico em respeito à aptidão de uso das terras (MOURA, 2008; COLAVITE, 2016).

É bastante comum os profissionais utilizarem as ferramentas de Análise por Múltiplos Critérios (AMC) para estabelecerem zoneamentos de acordo com os interesses e a aptidão da área. Quando desenvolvida em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), essas ferramentas aumentam a sua capacidade de espacializar os atributos constituintes do uso das terras, favorecendo ainda mais na definição de zonas. O Processo Analítico Hierárquico (PAH) é umas das técnicas mais utilizadas para a determinação dos pesos dos critérios. Ela permite uma liberdade aos usuários para atribuição de novos pesos para que seja testada uma nova alternativa ao problema em questão (LOPES; REUSS-STRENZEL, 2015).

Busca-se com esta pesquisa fazer um mapeamento de sensibilidade ambiental para o desenvolvimento de atividades econômicas da RH-VIII. Para tanto foi necessária uma pesquisa quanto ao método mais aplicável à tarefa, bem como o levantamento dos dados espaciais utilizados para confecção do mapa final.

A presente Dissertação está estruturada no formato de dois artigos de comunicação científica, conforme normalização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense). No primeiro artigo, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre a temática “Análise da Paisagem com o uso de Geotecnologias: uma proposta metodológica para o planejamento territorial da Região Hidrográfica VIII – RJ”, e no segundo, apresentou-se um estudo de “Mapeamento de sensibilidade ambiental ao desenvolvimento: estudo de caso na Região Hidrográfica VIII – RJ”.

Desta forma, este trabalho fornece subsídios teóricos, conceituais e metodológicos para realização de outras pesquisas de mesmo caráter, assim como, apresenta ao poder público e à comunidade um diagnóstico da área, visando a tomada de decisões adequada no planejamento ambiental regional.

ARTIGO CIENTÍFICO I

ANÁLISE DA PAISAGEM COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS: UMA PROPOSTA METODOLOGICA PARA O PLANEJAMENTO TERRITORIAL DA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII – RJ

RESUMO

As Geotecnologias são excelentes instrumentos para gestão ambiental pela sua capacidade de integração de ferramentas e técnicas de modelagem dos fenômenos ambientais. Tendo como base o conceito de Análise da Paisagem é possível reconhecer os potenciais e as fragilidades de uma determinada área geográfica. A Região Hidrográfica VIII (RH-VIII), área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras (CBH Macaé/Ostras), apresenta alto grau de degradação ambiental devido à ocupação intensiva de terras impróprias ao uso. A preocupação com a gestão ambiental da região se manifesta a nível nacional, pois além do abastecimento público suas águas suprem boa parte das necessidades das indústrias de petróleo instaladas na região. Os módulos de Análise de Múltiplos Critérios (AMC) dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) se apresentam como uma ferramenta viável em estudos de ordenamento territorial. Busca-se com a pesquisa fazer uma revisão da literatura visando adequar proposta metodológica para planejamento territorial da RH-VIII.

Palavras chaves: Ecologia de Paisagem. Gestão e Planejamento Territorial. Apoio à tomada de decisão.

LANDSCAPE ANALYSIS WITH USE OF GEOTECHNOLOGIES: A METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR TERRITORIAL PLANNING THE HYDROGRAPHIC REGION VIII – RJ

ABSTRACT

Geotechnology is presented as an excellent tool for environmental management due to its capacity of interaction and modeling techniques of environmental phenomena. Based on Landscape Analysis concept it is possible to recognize the potential and the weaknesses of a particular geographical area. The Hydrographic Region VIII (RH-VIII), where the Committee of Hydrographic Basins of Macaé and Ostras rivers (CBH Macaé/Ostras) operates, presents high levels of environmental degradation due its intensive occupation of improper areas for use. The concern of environmental management for the region is expressed in national level, due to the fact that besides the public supply, its water provides a good portion of the oil industries needs in the region. The modules of Multi-Criteria Analysis (MCA) of Geographic Information Systems (GIS) are presented as a viable tool in territorial planning studies. So the aim is to make research a literature review in order to systematize the references related to the topic and propound a resource to elaborate a territorial planning of the RH-VIII.

Keywords: Landscape Ecology. Management and Territorial Planning. Support in Decision-Making.

1. INTRODUÇÃO

A degradação do ambiente por ações antrópicas é um dos impactos ambientais de maior relevância e discussão dentro do atual contexto sociopolítico. Esse conceito pode ser entendido como perda de características naturais, destruição ou deterioração, desgastes gerados ao meio ambiente a partir do desenvolvimento de atividades econômicas e ou ocupação humana (PINTO et al., 2013). Logo, a busca por medidas mais racionais tem se tornado prioridade para a conservação dos ecossistemas.

A Análise da Paisagem é um conceito bastante utilizado nas Geociências. A sua prática consiste em estudar os elementos presentes em um território delimitado por características geomorfológicas pré-determinadas. Nesse sentido, a natureza não é observada somente pelos seus componentes, mas também pelas suas conexões e interações, nos permitindo compreender a sua dinâmica de transformação (BERTRAND, 2004; MUCHAILH, 2007).

As bacias hidrográficas são unidades territoriais com dimensões variadas e segundo Carvalho e Silva (2006) podem ser definidas como uma área delimitada unicamente por sua topografia cuja drenagem é realizada por um ou mais cursos d'águas conectados de tal forma que toda sua vazão efluente é descarregada por uma única saída. No seu interior os recursos naturais e fenômenos interagem, proporcionando dessa forma um ambiente constituído por subsistemas interativos e de fácil reconhecimento (ROSS; PRETTE, 1998).

Nessa lógica, a bacia hidrográfica é tomada como unidade básica de gestão ambiental por diversos autores e profissionais. E para fins de estudos em bacias hidrográficas deverão ser feitos levantamentos detalhados das informações ambientais, sociais e culturais assim como suas interações para uma melhor conclusão (PHILIPPI JUNIOR; SILVEIRA, 2004).

A Região Hidrográfica VIII (RH-VIII) está localizada no Litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro, drenando uma área de 2.013 km², pertencendo ao Bioma de Mata Atlântica onde se destaca o Corredor da Serra do Mar. O Rio Macaé é considerado um importante manancial a nível nacional, pois apesar do abastecimento público da região, seus recursos suprem as necessidades de boa parte das indústrias do petróleo da região, tornando-se essencial para a cadeia produtiva do combustível (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

Os aspectos ambientais da RH-VIII se apresentam bastantes impactados devido à intervenção humana, com destaque ao represamento e a retilinização dos cursos d'água, uso e ocupação de áreas restritas e a retirada da cobertura vegetal para atividade agrícola. Porém é demonstrado que na bacia há importantes remanescentes de Mata Atlântica a serem preservados (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

As Geotecnologias podem ser conceituadas como um conjunto de técnicas e métodos científicos para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Essas técnicas podem ser aplicadas sobre diversas temáticas como em pesquisas dos recursos naturais, no estudo da paisagem, desastres naturais e nas atividades humanas (TÔSTO et al., 2014). Segundo Bolfe (2006) as Geotecnologias se tornam uma ferramenta fundamental para a gestão dos recursos naturais, pois permitem a otimização do tempo de análise para tomada de decisões, imprescindível para regiões distantes e de difícil acesso.

Dentro do universo das Geotecnologias, podemos destacar o Sensoriamento Remoto, técnica capaz de capturar a energia eletromagnética refletida pelos objetos na terra para produção de informações dos recursos e fenômenos naturais, assim como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tecnologia fundamentada em banco de dados gráficos e não gráficos que permite o processamento das informações para uma análise espacial (ROSA, 2005; LORENZZETTI, 2015).

A busca pela solução ideal para determinado problema é um conceito bastante discutido na sociedade atual. Nessas circunstâncias, verifica-se o desenvolvimento de ferramentas que dão apoio à tomada de decisões, dentre as quais podemos destacar a Análise por Múltiplos Critérios (AMC), utilizada para os problemas que apresentam um conjunto de soluções possíveis e com múltiplos objetivos (PARREIRAS, 2006). De acordo com Born (2013) diversas metodologias de AMC podem ser desenvolvidas em ambiente de SIG, gerando um produto que facilite a tomada de decisão de uso para um determinado espaço territorial de acordo com a sua aptidão, a qual se destaca a técnica de Processo Analítico Hierárquico (PAH), onde os critérios são avaliados de acordo com a sua prioridade.

Alguns SIG incluem em seus módulos funcionais, ferramentas para auxílio à tomada de decisão para melhor alocação de recursos. Módulos que incorporam erros em processos e auxiliam na construção de mapas de pertinência em AMC. Esses módulos também endereçam alternativas quando existem múltiplos objetivos envolvidos, dando apoio aos gestores na tomada de decisão (SILVEIRA, 2004).

É importante destacar a atuação do Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (CBH Macaé/Ostras) na RH-VIII, que durante a elaboração do Plano de Recursos Hídricos identificou a necessidade de realizar uma atividade voltada ao planejamento territorial de toda região (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012b).

Visando colaborar para um melhor ordenamento territorial e com a gestão das águas na RH-VIII, buscou-se com a pesquisa uma revisão bibliográfica sobre os temas apresentados

objetivando a propositura de técnicas capazes de identificar a aptidão quanto ao uso das terras, com a temática de desenvolvimento humano, conservação e preservação ambiental.

2. ANÁLISE DA PAISAGEM COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS

O termo paisagem é utilizado em distintas ramos de conhecimento como Artes, Turismo, Arquitetura e Biologia, dentre muitas outras, logo sua conceituação é polissêmica e está associada à perspectiva do observador (METZGER, 2001; BERTRAND, 2004). Evitando distorções, será adotado o conceito empregado no campo das Geociências, onde a paisagem se define como unidades ecológicas compostas por mosaicos de ecossistemas que interagem em uma área ampla delimitada por características geomorfológicas e com regime específico de alterações. A sua formação é fruto da interação dos componentes geológicos, expostos à ação do clima, fatores geomorfológicos e bióticos que, através do tempo, refletem atualmente os registros acumulados da evolução biofísica. Este conceito é também vastamente utilizado por diversos profissionais que estudam as questões vinculadas à gestão ambiental ou ao planejamento territorial em seus diversos níveis, escalas e recortes temáticos de análise (MUCHAILH, 2007; DANTAS et al., 2015).

A paisagem apresenta uma dinâmica de transformação relacionada à ação humana no espaço geográfico. Atualmente o modo de desenvolvimento da sociedade faz com que essa atividade se torne cada vez mais presente e intensa nos ambientes. Dessa forma, não se pode mais divulgar a existência de paisagens naturais, pois todas apresentam ao menos uma forma de interferência antropogênica podendo ser em maior ou menor grau de intervenção. Nesse contexto, a paisagem não é simplesmente o conjunto de fatores geomorfológicos associados a elementos bióticos em um ambiente demarcado, e sim o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo aleatoriamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e inseparável que está em perpétua evolução, em uma determinada porção do espaço (BERTRAND, 2004; DANTAS et al., 2015).

A discursão anterior é fundamental para compreensão da teoria geossistêmica, sistematizado na Figura 1, onde a definição é baseada na interconexão de fluxos de matéria e energia entre os elementos bióticos, abióticos e antrópicos, cujo o resultado sustenta a formação de uma dimensão no espaço terrestre (BERTRAND, 2004).

O estudo da paisagem, na perspectiva da interação dos elementos para uma abordagem sistêmica, favorece o reconhecimento das estruturas vertical e horizontal da paisagem, bem como sua dinâmica evolutiva. A estrutura horizontal é a base para a ecologia da paisagem é o

reconhecimento que as interações entre as unidades de paisagem podem interferir no funcionamento das unidades relacionadas, admitindo a dependência espacial entre as unidades de paisagem. O seu estudo evidencia o efeito causado pela estrutura da paisagem nos processos ecológicos. A estrutura vertical busca entender as interações de uma comunidade com o sistema abiótico (por exemplo clima e tipo de solo) num ambiente relativamente homogêneo, é o ponto de vista da ecologia de ecossistema (BURNETT; BLASCHKE, 2003).

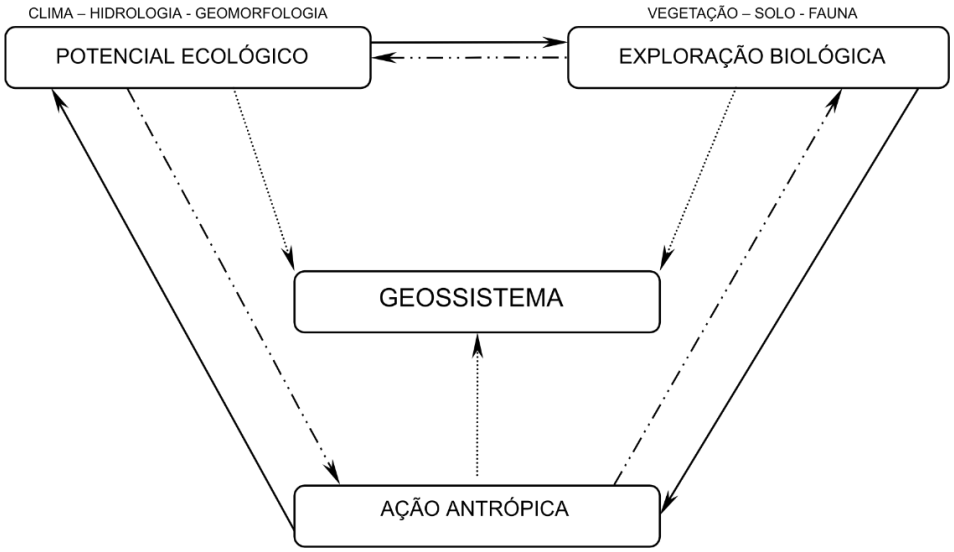

Figura 1 – Esboço de uma definição teórica de geossistema. Fonte: Bertrand (2004).

Os elementos naturais (recursos hídricos, fauna e flora) formam a identidade de uma unidade de paisagem e são considerados como patrimônio natural e paisagístico pela sua capacidade de proporcionar conforto psicológico e fisiológico as pessoas que deles usufruem, e ainda como recursos ímpares no processo de compreensão das condições biofísicas da região (PIPPI; LIMBERGER; LAZAROTTO, 2008).

A vegetação é o elemento com maior representação nas pesquisas envolvendo ecologia da paisagem. Tal fato se justifica ao considerar a cobertura vegetal como um importante indicador das condições ambientais (MUCHAILH, 2007). Fragmento florestal pode ser definido como uma área onde a vegetação é predominante e se apresenta próximo ao seu estado natural, sendo essa interrompida por diversas formas, tais como, estradas, povoados, culturas agrícolas, pastagens, montanhas, lagos, represas e em alguns casos as próprias formações vegetais podem ser consideradas barreiras naturais capazes de diminuir significativamente o fluxo de animais, pólen ou sementes. Em decorrência da atividade humana intensa, o processo de fragmentação da cobertura vegetal natural está cada vez mais presente, ocasionando a perda da biodiversidade local dentre outros impactos (DUCATTI et al., 2011).

O processo de fragmentação resulta em uma paisagem constituída por estruturas distintas formando um mosaico, onde é possível a identificação de três componentes horizontais básicos, a saber: i) matriz – elemento dominante na unidade capaz de controlar a dinâmica da paisagem, geralmente reconhecida pela área ocupada com o menor grau de fragmentação, equivalendo a área mais extensa e mais conectada; ii) mancha – áreas aparentemente homogêneas, que se distinguem das unidades vizinhas e apresentam extensões espaciais reduzidas e não-lineares; e, iii) corredor – estruturas relativamente homogêneas de aparência linear, que ligam pelo menos dois fragmentos que originalmente eram conectados (METZGER, 2001; MUCHAILH, 2007).

As Geotecnologias são consideradas as ferramentas apropriadas nos estudos da paisagem. São desenvolvidas para funcionar em ambientes computacionais, possibilitando a aquisição e o tratamento de dados espacialmente georreferenciados, bem como a integração de dados de diversas fontes, representando assim as informações da superfície da Terra mediante a uma aproximação dos meios bióticos e abióticos, capaz de modelar e analisar fenômenos presentes. Desta forma, o uso dos SIG pode facilitar e acelerar as tarefas e projetos de gestão e planejamento de paisagens (JERONYMO; SILVA, 2011).

Todo atributo da paisagem possui uma localização geográfica. Nesse sentido os SIG são utilizados para a documentação e visualização desses atributos, bem como a interação entre eles para uma interpretação dos fenômenos da superfície. Informações genéricas (dados brutos) podem ser transformados em informações úteis e politicamente relevantes. Com a ajuda de um SIG, podemos explicar e visualizar relações espaciais, representa-lás em forma de mapas, E também desenvolver cenários espaciais e avaliar possíveis intervenções assim como os seus impactos (LANG; BLASCHKE, 2009).

Tendo como referência a literatura científica produzida nas últimas décadas, podemos afirmar que os profissionais têm dado uma atenção considerável à definição de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade. A partir de trabalhos desenvolvidos em ambiente de SIG tendo como base critérios como diversidade biológica, graus de ameaças e ecorregiões, e fundamentados na Análise da Paisagem regional é possível identificar as áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (ALMEIDA et al., 2007).

3. GEOTECNOLOGIAS APLICADA

Geotecnologias é um termo bastante empregado para definir um conjunto de recursos tecnológicos utilizados para a coleta, processamento, análise e oferta de produtos com

referência geográfica. Produtos esses que contém informações temáticas relacionadas à superfície terrestre. Nesse sentido, agregando os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Digital entre outras, que através do processamento digital de imagens de satélites, elaboração de banco de dados georreferenciados, quantificação de fenômenos naturais, além de outras análises, proporcionam uma visão mais ampliada do ambiente (CÂMARA; MONTEIRO, 2001; MATIAS, 2001; ROSA, 2005).

De acordo com Fonseca (2008), o termo Geotecnologias se refere a uma temática ainda recente. A qual apresenta várias definições dentro da comunidade científica. Por conta disso, podendo até ser confundida com outros conceitos, pois segundo Rosa (2005) as Geotecnologias são conhecidas também como Geoprocessamento, embora este seja utilizado para a produção de informação espacial, envolvendo quatro técnicas básicas: i) técnicas para coleta de informação; ii) técnicas de armazenamento da informação; iii) técnicas para tratamento e análise da informação; e iv) técnicas para o uso integrado da informação espacial.

Atualmente o conceito de Ciência da Geoinformação, bem emergente na área da Geografia, é definido como diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico, pois utiliza-se de computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. E para tal feito é fundamental o entendimento dos fenômenos ambientais para que seja possível a tradução do mundo geográfico real para um ambiente computacional. (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Os produtos de informação geográfica podem ser acompanhados de incoerências ou falhas relacionadas às informações de espacialização, dimensão e identificação dos alvos. Uma vez que, para se trabalhar em um ambiente informatizado, o espaço geográfico real foi transformado em um modelo de espaço geográfico digital e durante esse processo de modelagem podem ocorrer alterações matemáticas ou geométricas das feições, permitindo que suas representações sejam imprecisas no ambiente informatizado e consequentemente transferindo os erros para o produto final, esses erros também podem ser provocados por resíduos de informações gerados durante o processamento digital. Tal percepção é fundamental para a demonstrar as limitações dos produtos de geoinformação (FERREIRA, 2014).

O emprego das Geotecnologias experimenta um crescimento técnico-científico significativo, e está muito bem difundido nos estudos sobre o meio ambiente e os recursos naturais, porém são utilizadas também na gestão pública, em empresas privadas, no agronegócios e ações militares como subsídio para tomada de decisão e planejamento estratégico. Das Geotecnologias disponíveis podemos destacar os SIG e o Sensoriamento Remoto (BOLFE, 2006).

3.1. Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento pode ser definido como ramo da ciência onde são utilizados aplicativos (normalmente SIG), equipamentos (computadores), dados de diversas fontes e profissionais especializados para o processamento de informações georreferenciadas (PIROLI, 2010). Geoprocessamento é uma tecnologia de caráter interdisciplinar capaz de concentrar o conhecimento de diferentes disciplinas científicas em um único ambiente para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Como dito anteriormente é comum encontrar na literatura que o Geoprocessamento é sinônimo de Geotecnologias. Porém tal equívoco não deve persistir, uma vez que o geoprocessamento é definido como um conjunto técnicas operando dados georreferenciados para a produção de informação. Portanto não se deve confundir tecnologias de manipulação e coleta de dados espaciais com o processamento propriamente dito desses dados. Nesse contexto é sensato afirmar que os dois conceitos são complementares um ao outro, uma vez que para gerar informações (processamento de dados), há necessidade de produção de dados iniciais que em estado bruto não possui muita relevância, ou seja, o geoprocessamento é uma ferramenta da geotecnologia para produção de informação significativa (CÂMARA; MONTEIRO, 2001; XAVIER-DA-SILVA, 2009).

A utilização de ferramentas de Geoprocessamento é aplicável a qualquer setor que trabalhe com informações que possam ser relacionadas a pontos específicos da superfície territorial, o que justifica sua vasta difusão nos órgãos públicos, entidades privadas e não governamentais. Tal ferramenta tem se tornado indispensável em projetos e estudos relacionados ao meio ambiente. A possibilidade de processamento simultâneo de grandes quantidades de dados, favorecem para um suporte essencial na tomada de decisão em ações que envolvam planejamento e manejo dos recursos naturais (FERREIRA, 2006; HAMADA; GONÇALVES, 2007).

3.2. Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto é a técnica que permite a aquisição de informações relativas aos recursos e fenômenos naturais da Terra pelos sensores instalados a bordo de plataformas em altitude (balões, aeronaves e satélites) que coletam e analisam a energia eletromagnética refletida, emitida ou retroespalhada pelos alvos. Energia essa, geralmente proveniente da luz Solar, como ilustrado na Figura 2. A coleta via sensores instalados em satélites orbitais é a forma mais vantajosa de aquisição dessas informações, uma vez que possibilitam a coleta de

dados de grandes áreas em pouco tempo com períodos de repetição de coleta de dados (MENESES; ALMEIDA, 2012; LORENZZETTI, 2015).

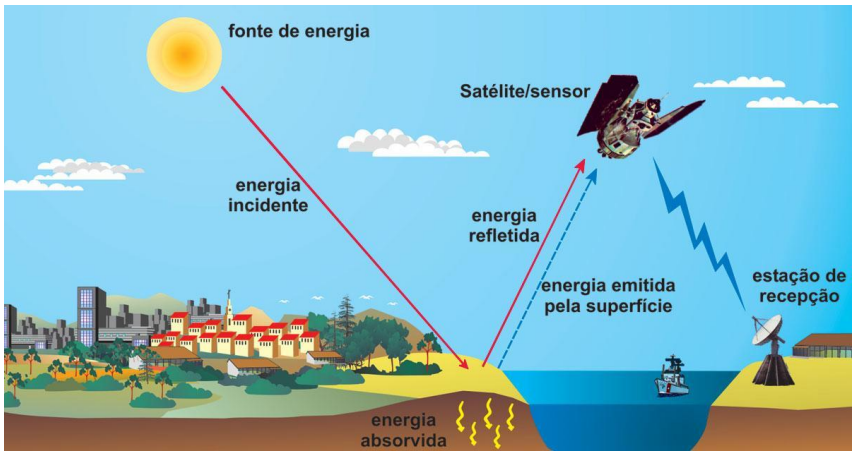

Figura 2 – Esquematização do Sensoriamento Remoto. Fonte: Florenzano (2011).

A energia emitida pela radiação Solar possui uma grande amplitude de ondas eletromagnéticas, chamada de espectro eletromagnético. A sua interação (reflexão, absorção e transmissão) com os objetos da superfície da terra é modificada em proporção à variação, ao comprimento e frequência da radiação e às características biofísicas e químicas dos alvos (ilustrado na Figura 3). Nesse sentido os sensores são equipados para registrar a energia refletida em diferentes faixas do espectro eletromagnético, disponibilizando os dados em bandas espectrais distintas, para serem trabalhadas de acordo com as necessidades (BRASIL, 2000; FLORENZANO, 2011).

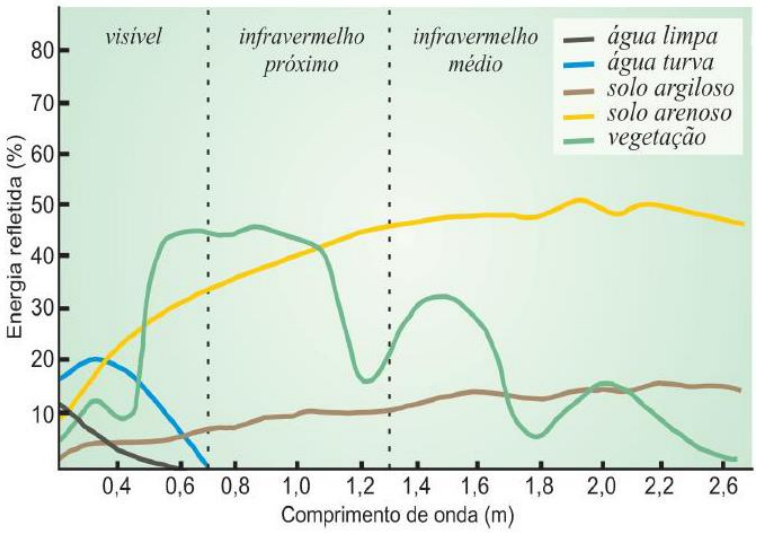

Figura 3 – Curvas espectrais da vegetação, da água e do solo. Fonte: Florenzano (2011).

A análise da superfície terrestre via Sensoriamento Remoto é mais desenvolvida nos estudos envolvendo os recursos naturais como a água, os solos, as rochas e a vegetação. A exploração da interação da vegetação com a radiação eletromagnética nos permite identificar

de forma qualitativa a fisiologia vegetal do alvo, bem como o crescimento e produção vegetal de uma determinada cultura e também a estimativa de desflorestamento de uma região. Tudo isso a partir de metodologias que estão em constante desenvolvimento (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Sensoriamento Remoto é a ciência através da qual transformamos dados de radiância de uma superfície em informações sobre os objetos que a compõem, e por constar informações fora do espectro do visível (humano) as técnicas de visualização são insuficientes para analisar todos os dados contidos nas imagens. Dessa forma tendo a necessidade da utilização de técnicas computacionais de Processamento Digital de Imagem para a tradução dos dados, destacando as técnicas de Pré-Processamento, Realce e Análise Digital de imagem (NOVO, 2010).

3.3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

É definido por Câmara e Monteiro (2001) como aplicativos de computador nos quais a sua característica principal é a capacidade de efetuar análise de informações geográficas e a sua representação espacial. Os SIG representam um dos principais componentes das geotecnologias. São neles que os dados contendo informações da superfície da terra são tratados para elaboração de mapas, gráficos, tabelas e relatórios que representam digitalmente o mundo real. A configuração dos SIG é caracterizada pela interação dos equipamentos, dados, programas, recursos humanos e métodos (demonstrado na Figura 4) (TÔSTO et al., 2014; FERREIRA, 2006).

Figura 4 – Representação da interação em um ambiente de SIG. Fonte: Ferreira (2006).

A principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de manipular dados de duas naturezas como: i) dados geométricos – representados por meio de entidades gráficas que representam os componentes do mundo real que se deseja analisar; e ii) dados descritivos – compostos por tabelas que contém informações numéricas, ou

de texto, que descrevem características das entidades gráficas. Dessa forma os dados podem ser associados por um sistema interligado de representação e descrição (CASANOVA et al., 2005; DIAS; BATISTA, 2008).

A estrutura dos dados é o modo pelo qual as entidades gráficas são representadas e armazenadas em um ambiente SIG (HAMADA; GONÇALVES, 2007). E de acordo com Rosa (2013) e Tôsto et al. (2014) são descritas em dois tipos básicos:

- Vetorial ou "vector" – representado por um ou mais pares de coordenadas para definir o objeto ou limite da feição de interesse, onde o ponto simboliza o elemento fundamental, capaz de reproduzir uma linha entre um ponto inicial e um ponto final, que por sua vez pode formar polígono através de uma linha fechada com os pontos inicial e final sobrepostos;
- Matricial ou "raster" – modelado por uma malha quadriculada regular onde as feições são construídas célula a célula, ou seja, por uma matriz de valores, nesse caso a célula indica a unidade elementar cujo seu tamanho é denominado de resolução espacial, sendo essa unidade relativa à área da superfície da terra.

Para a produção de informações geográficas é necessário "alimentar" os SIG com dados sobre o mundo real, sistematizado na Figura 5. Transformando assim as informações complexas constituídas de diversos elementos em um produto para representação específica. O desmembramento dos elementos em camadas permite o tratamento das informações em arquivos separados o que possibilita a representação da superfície terrestre por temas, facilitando a visualização das informações pelos consumidores (FERREIRA, 2006).

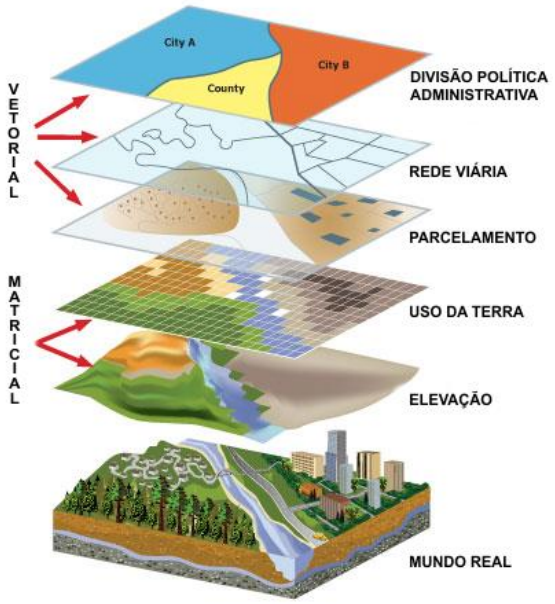

Figura 5 – Ilustração dos dados que alimentam os SIG. Fonte: adaptado de EUA (2016).

O principal alicerce dos SIG é o banco de dados geográfico, onde as informações geográficas são armazenadas, gerenciadas e processadas em um único ambiente computacional. Sua estrutura permite o trabalho com dados de fontes distintas, contendo informações de geometrias e de descrições dos elementos que representam as características do mundo real. Destacando a capacidade de se relacionar com um grande volume de dados de forma eficiente (CASANOVA et al., 2005; PIROLI, 2010).

4. REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII (RH-VIII)

O entendimento de bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão e planejamento ambiental é bastante utilizado pelos profissionais e autores do ramo. Tal fato se justifica pela capacidade de reconhecer e estudar a integração de atributos naturais e culturais que refletem seus resultados diretamente dentro dos limites da bacia. A partir da promulgação da Lei Federal nº. 9.433/97 que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), esse conceito tomou força e foi definitivamente absorvido quando o assunto é gestão dos recursos naturais (ROSS; PRETTE, 1998; PHILIPPI JUNIOR; SILVEIRA, 2004; CARVALHO; SILVA, 2006).

A RH-VIII, conjunto de bacias hidrográficas e mananciais de água doce de alto valor ecossistêmico, está localizada na faixa costeira central-norte do Estado do Rio de Janeiro, situada entre dois polos de desenvolvimento, ao sul turístico-comercial e ao norte petrolífero-canavieiro, drenando uma área de 2.013 km² abrangendo os municípios de Macaé, Nova Friburgo, Casimiro de Abreu, Rio das Ostras, Conceição de Macabu e Carapebus. Sendo limitada pelas bacias do Rio Macabu, do Rio São João, do Rio Macacu, do Rio Bengala e com o Oceano Atlântico. O principal curso d'água é o rio Macaé onde é mensurada uma extensão total de 136 km, suas nascentes encontram-se na Serra de Macaé de Cima, a 1.560 m de altitude, próximo ao pico do Tinguá no município de Nova Friburgo e desaguando no Oceano Atlântico no município de Macaé, demonstrado na Figura 6 (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

A RH VIII tem uma grande relevância para a região devido aos usos de seus recursos em diversas atividades, dentre elas: abastecimento público, agricultura e geração de energia. Porém podemos destacar a sua importância a nível nacional, pois a bacia também abastece as indústrias de petróleo instaladas na região (BENASSULY, 2009). Na região serrana da bacia, o destaque é para exploração turística que vem crescendo a cada ano, particularmente nos distritos de Lumiar e São Pedro da Serra, em Nova Friburgo, e do Sana, em Macaé (PINHEIRO, 2008; CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

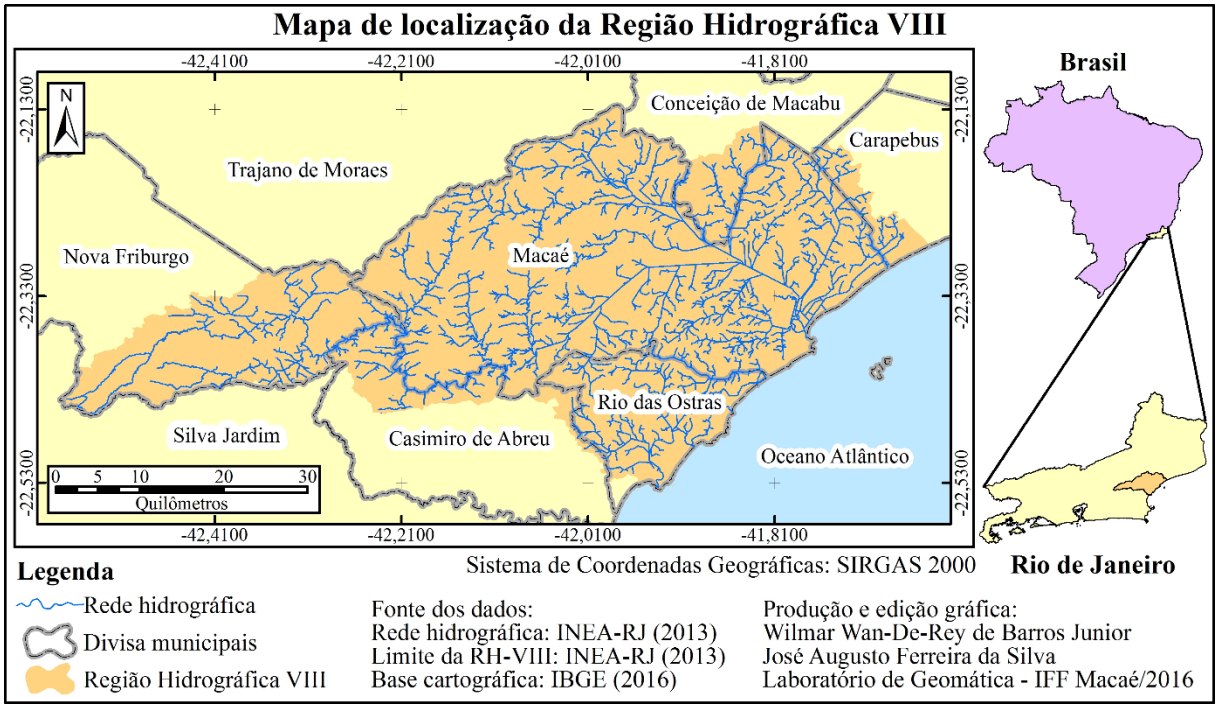

Figura 6 – Mapa de localização da região hidrográfica VIII. Fonte: Autores (2016).

No panorama ambiental, a RH-VIII apresenta impactos negativos bastantes significativos e as feições atuais dos ecossistemas são reflexos da evolução histórica dos diferentes tipos de ocupação e exploração da região, desde o desenvolvimento agrícola no período colonial e recentemente com a expansão das áreas urbanas em consequência da indústria do petróleo e desenvolvimento turístico da região. Dentre os impactos resultantes pela ação antrópica, podemos destacar o represamento e a retilinização do curso d'água, uso e ocupação de áreas restritas e a retirada da cobertura vegetal para atividade agrícola. Apesar disso, há significativos remanescentes de Mata Atlântica no interior da bacia. Estes requerem uma atenção voltada para a sua conservação. A porção do alto curso do rio Macaé é a que se encontra em melhor estado de conservação ambiental. Tal feito tem relação direta com a presença de Unidades de Conservação da Natureza no local (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

O processo de ocupação local é evidenciado desde a época do Brasil Colônia e desde então, o homem vem contribuindo para transformação da paisagem na região. A degradação ambiental teve início com o desmatamento de áreas para exploração do café e cana-de-açúcar. Posteriormente o declínio econômico dessas atividades na década de 1940 levaram à substituição dessas culturas pela atividade agropecuária. Apesar disso, ocorreu um aumento considerável da ocupação humana na região a partir da década de 1970 com a descoberta do petróleo da Bacia de Campos e a instalação da Petrobras na cidade de Macaé (MOTÉ; MARÇAL; BONATTO, 2006; SILVA; BEZERRA; GUERRA, 2012).

De acordo com Moté, Marçal e Bonatto (2006) pode ser feito uma associação dos tipos de uso e cobertura da terra com cada compartimento da bacia do Rio Macaé (alto, médio e baixo curso), apresentados da seguinte forma: i) alto curso – representa a porção mais preservada da bacia, porém a especulação imobiliária e o turismo contribuem consideravelmente para degradação ambiental, além de outras atividades em menor proporção como a agropecuária; ii) médio curso – o uso é predominante agropecuário apresentando pequenos fragmentos de mata; e iii) baixo curso – o desenvolvimento da urbanização foi a atividade que transformou boa parte desse compartimento, descaracterizando áreas de mangue e restinga.

Entre as décadas de 1940 e 1980 o governo federal através do antigo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), iniciou uma série de intervenções sobre os canais fluviais em diversas planícies de inundação no Estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de minimizar os problemas relacionados às enchentes, evitar a proliferação da malária e aumentar as terras secas favorecendo a atividade agropecuária. Por consequência, cerca de 60 km do rio Macaé foi retilinizado, além de trechos dos seus afluentes como os rios São Pedro, D'Antas e o canal Jurumirim. A retilinização desses canais minimizou os problemas relacionados ao saneamento e contribuiu para atividade agropecuária nas terras antes alagadiças. Porém não resolveu o problema das enchentes e causou alguns impactos ambientais como assoreamento dos rios, alteração da hidrodinâmica na zona estuarina, diminuição do pescado e outros (REGO, 2010; ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012).

Cabe destacar que na bacia do rio Macaé, mais precisamente na sub-bacia do rio São Pedro foram implantados dois aproveitamentos hidroelétricos: i) a Usina Hidroelétrica (UHE) Glicério que encontra-se desativada; ii) e a UHE Macabu, que recebe águas da bacia hidrográfica da Lagoa Feia, sendo essa transposição viabilizada por um represamento do rio Macabu na localidade de Tapera no município de Trajano de Moraes, causando uma série de conflitos, entre eles a diminuição da disponibilidade hídrica a jusante da represa (PINHEIRO, 2008; WERNECK, 2010).

No âmbito da gestão dos recursos hídricos a RH-VIII compreende as bacias hidrográficas dos rios Macaé e das Ostras e da Lagoa de Imboassica, juntamente com pequenos córregos e lagoas litorâneas (CERHI-RJ, 2013). Tendo como órgão consultivo, deliberativo e normativo o CBH Macaé/Ostras – Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras. Caracterizado por um conjunto de entidades representantes do Poder Público, da sociedade civil organizada e dos usuários, aderindo os princípios da gestão integrada, descentralizada e participativa. Tal modelo de gestão dos recursos hídricos foi inspirado na experiência da França

e instituído pela Lei Federal n° 9.394/97 – PNRH, e Lei Estadual n° 3.599/99 – Política Estadual dos Recursos Hídricos (PERH) (REGO, 2010; SILVA, 2015).

É relevante informar que a RH-VIII foi uma das primeiras do estado do Rio de Janeiro a implementar o referido sistema de gestão. Tal fato foi motivado pela necessidade de garantir água de qualidade aos usuários e a pressão de instituições ambientalistas preocupadas com alto dinamismo urbano na região e sua capacidade de degradação dos recursos naturais (PORTELA; BRAGA, 2006). A respeito das ações do CBH Macaé/Ostras podemos destacar a dedicação para elaboração do seu Plano de Recursos Hídricos, que segundo ANA (2016) é um instrumento da PNRH onde são estabelecidas ações estratégicas voltadas a gestão dos recursos hídricos de uma determinada bacia.

Durante a elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica VIII foi identificado a necessidade de formulação de subsídios para programas de conservação e recomposição da biodiversidade que é especificado como a identificação de zonas compatíveis com as seguintes categorias de manejo: i) áreas de preservação; ii) áreas para conservação; e iii) áreas de desenvolvimento (ordenamento territorial) (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012b).

5. GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE APOIO A GESTÃO E PLANEJAMENTO TERRITORIAL

A sociedade contemporânea apresenta padrões insustentáveis de produção e consumo, pois acredita que o crescimento econômico é o melhor caminho para obtenção de melhores condições de vida, gerando danos sociais e ambientais que ironicamente prejudicam o bem-estar e qualidade de vida. Especialistas afirmam que desde a década de 80, a biosfera não suporta a demanda humana no que diz respeito a produção de recursos consumidos e à assimilação de resíduos gerados (COSTA et al., 2004; SOUSA; TAVARES, 2013; DANTAS et al., 2014).

O desenvolvimento da sociedade ocorreu de forma desordenada em relação à ocupação das terras. E foi sucedida em áreas mais acessíveis sem a devida preocupação quanto às condições do ambiente, seja pela falta de conhecimento ou pela necessidade, promovendo diversos impactos negativos que resultaram na redução da qualidade de vida. Nesse sentido, ao analisar as características do espaço físico, é possível identificar um uso apropriado para o mesmo, configurando um planejamento para uso das terras. Tal processo se torna fundamental para mitigar os problemas decorrentes do mau uso dos recursos naturais, procurando a sua conservação (PEDRON et al., 2006; CORSEUIL; CAMPOS, 2007).

As questões ambientais passam a ter notoriedade na década de 60, onde a busca pelo lucro a qualquer custo gerou uma queda na qualidade ambiental, que por sua vez estimulou a realização de movimentos de proteção à natureza. Nos anos 90, o assunto atinge o ápice com o desenvolvimento da gestão ambiental, entendida como o conjunto de procedimentos que visam à conciliação entre desenvolvimento e qualidade ambiental (KRAETZIG 2008; MEDEIROS; GIORDANO; REIS, 2012). Segundo Floriano (2007) a gestão de um ambiente tem como finalidade a manutenção das estruturas e funções ecológicas do meio. Logo seu objetivo é a conservação desse ambiente.

A conservação ambiental é um conceito amplamente utilizado para retratar as ações de manejo adequado dos recursos de um ambiente, é o uso racional dos recursos naturais e espécies vivas, favorecendo o equilíbrio do meio ambiente e garantindo a variedade e consumo dos serviços ambientais. Esse conceito está associado à sobrevivência de todas as espécies, inclusive da espécie humana que é a maior consumidora dos recursos naturais e que menos contribui para a sustentação dos mesmos (PINHEIRO; KURY, 2008).

A restrição ao uso de uma área não tem função apenas de preservar a vegetação ou a biodiversidade, mas sim uma função socioambiental bem mais abrangente de garantir os serviços ambientais com qualidade, assegurar o bem-estar das populações humanas e impedir a ocupação de áreas de sensibilidade ambiental como no caso das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Unidades de Conservação (UC) (SCHÄFFER et al., 2011).

A gestão ambiental evoluiu na área de conhecimento sobre o meio ambiente, agregando conhecimentos das áreas de ciências biológicas, geografia, geologia e das áreas de ciências exatas, permitindo uma condução para o uso racional dos recursos naturais. Dentro desse conceito evolucionário de administração do meio ambiente, a área de conhecimento denominada de geoprocessamento se configura como um instrumento de grande relevância para a gestão dos recursos naturais, criando novas possibilidade de análise ambiental, antes totalmente impensáveis. A área apresenta-se como uma possibilidade de exploração e estabelecimento de novos conhecimentos científicos na área ambiental (SILVEIRA, 2004).

Segundo Silveira (2004), a gestão ambiental pode ser entendida como um processo de tomada de decisões onde as questões ambientais são priorizadas. Nesse caso, a tomada de decisões consiste na busca da alternativa que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda, a melhor aliança entre as expectativas daquele que tem o poder de decidir e disponibilidade em adotá-la.

A tomada de decisão pode ser apoiada por diversas metodologias, no planejamento ambiental as técnicas apoiadas em AMC se destinam a investigar um número de possibilidades

frente a múltiplos critérios e prioridades conflitantes, auxiliando na modelação e a agregação das preferências dos atores. É um instrumento que permite apoiar o grupo decisor a reavaliar seus pontos de vista mediante a uma técnica consagrada, e incorporar, sistematicamente, aspectos sociais, econômicos, técnicos e ambientais. Tais métodos buscam otimizar a decisão por meio da maximização dos objetivos. Considerando como melhor solução aquela que maximiza o valor das alternativas ou pontos de vista considerados (SANTOS, 2004).

5.1. Utilizando o SIG como apoio à tomada de decisão

Alguns SIG adquiriram uma combinação bem-sucedida com as técnicas de suporte na tomada de decisão, ambas ferramentas se completam perfeitamente. O SIG permite a integração com outras tecnologias como o sensoriamento remoto, Global Positioning System (GPS), Computer Aided Design (CAD), dentre outras, e a sua habilidade de efetuar diversas tarefas utilizando tanto os dados espaciais quanto os atributos armazenados nos dados, propicia uma melhor compreensão do processo de tomada de decisão (BIJU, 2015).

Uma tomada de decisão implica em assumir riscos exigindo bons processos para alcançar os melhores resultados. Nessa linha de raciocínio, as decisões relacionadas às questões ambientais demandam coerência e comprometimento, pois a temática está frequentemente associada a uma incerteza considerável e o seu tratamento ultrapassam os objetivos propostos inicialmente, podendo comprometer outros usuários (BORN, 2013).

Os SIG são complementares na tomada de decisão e em alguns casos apresentam inclusive módulos de análise geográfica participativa, sendo empregado em diversas áreas, principalmente nas questões ambientais, planejamento urbano, como também na indicação de áreas suscetíveis a implantação de diferentes empreendimentos (HASENACK, 1995; DONEVSKA et al., 2011).

De acordo com Westmacott (2001) e Davis e McDonald (1993) apud Born (2003), há uma variedade significativa de sistemas de apoio à decisão, porém a estrutura tradicional é constituída por três componentes básicos:

- Interface com usuário: diz respeito à única parte do sistema de apoio à decisão com a qual o usuário terá contato, exercendo uma importante função na utilização do sistema. Além de interpretar uma grande variedade de solicitações do tomador de decisões, a interface é capaz também de justificar resultados da base de dados e modelos.

- Base de dados: nela estão contidas as informações de natureza distintas, que serão utilizadas para alimentar os modelos temáticos.
- Base de modelos: são as soluções possíveis para um problema. Dependendo da necessidade do usuário pode ser diversificado por modelos estruturais, matriciais, numéricos, espaciais, dentre outros.

5.2. Análise por Múltiplos Critérios (AMC)

Para a tomada de decisão, é necessário levar em consideração diversos critérios para avaliar um conjunto de alternativas que foram designadas para a resolução de um dado problema. Pode-se então afirmar que ele se encontra num processo de decisão por multicritério (LEONETI, 2012).

A AMC, é uma metodologia que tem sido amplamente utilizada em decisões relacionadas a problemas que possuem diferentes alternativas e critérios, facilitando a tomada de decisão das partes interessadas. As alternativas costumam ser avaliadas através de uma atribuição de valores de acordo com as características que o alvo apresenta. Estes alvos são avaliados de acordo com a preferências dos agentes interessados, levando em conta os critérios e alternativas propostas por eles. Portanto, muitos problemas envolvendo as análises espaciais, acabam por dar origem à tomada de decisão por análise de multicritério em conjunto com o SIG (BOROUSHAKI; MALCZEWSKI, 2010).

O apoio a tomada de decisão via AMC possui diferentes técnicas de aplicação. Entre elas destaca-se a Analytic Hierarchy Process (AHP), em português Processo Analítico Hierárquico (PAH), que pode ser executada a partir da lógica booleana e da combinação linear ponderada. Esses métodos são facilmente aplicados a problemas pertinentes à análise de informações geográficas (BIJU, 2015).

A técnica de PAH surgiu no final da década de 60 e foi desenvolvida pelo matemático Thomas L. Saaty. Baseia-se em princípios qualitativos e quantitativos, cujos critérios são organizados de maneira hierárquica, atribuindo a cada critério um peso numérico ou prioridade para uma análise sistemática par a par, gerando uma matriz de comparação que ao ser derivada em relação a cada alternativa, permite que seja utilizada no apoio à tomada de decisão (SAATY, 1987; BRIOZO; MUSETTI, 2015).

A atribuição dos valores aos critérios é realizada a partir da: i) lógica booleana - os critérios são analisados por uma condição binária (falso ou verdadeiro). Pode se dizer que é uma definição mais simples; ii) Combinação Linear Ponderada (CLP) – consiste em dar pesos

aos critérios de acordo com sua importância e são combinados por uma média ponderada. É uma metodologia de padronização dos fatores para uma escala numérica comum (EASTMAN, 1998; JERONYMO, 2012).

Os critérios da AMC podem ser de dois tipos: restrições e fatores. Os fatores são características que indicam algum grau de aptidão ou uma limitação relativa para os objetivos propostos inicialmente, compreendendo todas as regiões geográficas (método da CLP). As restrições são as feições que limitam totalmente espaços específicos, determinando em aptos ou não aptos (lógica booleana) (BORN, 2003; JERONYMO, 2012).

6. CONCLUSÃO

A Ciência da Geoinformação é um termo emergente cuja finalidade é utilizarmos computadores para gerar e representar os elementos contidos no espaço geográfico Esses elementos podem ser identificados e avaliados separadamente, produzindo informações relevantes as quais podem ser armazenadas em ambientes de SIG e posteriormente processadas nos módulos de AMC, onde é permitido a atuação dos elementos como critérios.

Para criar um procedimento de AMC visando o ordenamento territorial, deve-se avaliar a aptidão dos critérios (elementos) em relação ao uso indicado, a exemplo das APP pois elas possuem restrição ao uso para a atividade humana enquanto as estradas indicam uma tendência ao desenvolvimento. Portanto pode-se utilizar o método de PAH, onde os critérios são avaliados de acordo com as suas prioridades.

A aplicação do princípio de Análise da Paisagem é de extrema relevância para avaliação dos critérios, uma vez que é conceituada na compreensão do dinamismo entre os elementos da natureza, pois possibilita reconhecer as fragilidades e os potenciais das unidades gerando, com isso indicadores relacionados aos elementos.

Em síntese, os métodos aqui mencionados são satisfatórios para serem aplicados ao planejamento ambiental do uso das terras, e apresentam-se como uma solução as demandas criadas de ordenamento territorial, não somente para a RH-VIII, como também para outras regiões.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Dayana et al. Avaliação da eficácia de modelo para definição de áreas prioritárias para a conservação da natureza. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais... .** Ponta Grossa: UEPG, 2007.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Planejamento de Recursos Hídricos.** 2016. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreAna/planejamentoRH.aspx>. Acesso em: 10 jul. 2016.

ASSUMPÇÃO, André Polly; MARÇAL, Mônica dos Santos. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia,** Recife, v. 29, n. 3, p.19-36, 2012.

BENASSULY, Carolina Cloris Lopes. **Avaliação de redes de monitoramento de recursos hídricos:** estudo aplicado às águas superficiais na bacia do Rio Macaé. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Ra'e Ga: O Espaço Geográfico em Análise,** Curitiba, n. 8, p.141-152, 2004.

BIJU, Bárbara Pavani. **Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção civil.** 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BOLFE, Édson Luis. Geotecnologias aplicadas à gestão de recursos naturais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3., 2006, Aracaju. **Anais... .** Aracaju: Geonordeste, 2006.

BORN, Viviane. **Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios.** 2013. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2013.

BOROUSHAKI, Soheil; MALCZEWSKI, Jacek. Measuring consensus for collaborative decision-making: A GIS-based approach. **Computers, Environment And Urban Systems,** n. 34, p.322-332, 2010.

BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: IBGE, 2000. 92 p.

BRIOZO, Rodrigo Amancio; MUSETTI, Marcel Andreotti. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. **Gest. Prod.,** [s.l.], v. 22, n. 4, p.805-819, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x975-13.

BURNETT, Charles; BLASCHKE, Thomas. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. **Ecological Modelling**, [s.l.], v. 168, n. 3, p.233-249, out. 2003. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3800(03)00139-x.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: Inpe, 2001. p. 7-41.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia:** Capítulo 3. Bacia Hidrográfica. 2006. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>. Acesso em 30/11/2015.

CASANOVA, Marco Antonio et al (Ed.). **Bancos de Dados Geográficos.** Curitiba: Mundogeo, 2005. 504 p.

CBH MACAÉ/OSTRAS - Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Ambiente. **Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica Macaé e das Ostras:** Relatório de caracterização da região hidrográfica Macaé e das Ostras. 2012a. 91 p.

CBH MACAÉ/OSTRAS - Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Ambiente. **Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica Macaé e das Ostras:** Plano de trabalho consolidado. 2012b. 149 p.

CERHI-RJ - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Ambiente.**Aprova nova definição das regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro e revoga a resolução CERHI n° 18 de 08 de novembro de 2006.** 2013. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdq4/~edisp/inea0048930.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2016.

CORSEUIL, Cláudia Weber; CAMPOS, Sérgio. Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis.**Anais... .** Florianópolis: Inpe, 2007. p. 2471 - 2478.

COSTA, Ana Flávia Magalhães et al. Sociedade atual, comportamento humano e sustentabilidade. **Caminhos de Geografia,** Uberlândia, v. 5, n. 13, p.209-220, out. 2004.

DANTAS, Marcelo Eduardo et al. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. Terræ Didatica. **Terræ Didatica,** Campinas, v. 11, n. 1, p.4-13, 2015.

DANTAS, Marina Kolland et al. Análise dos gastos públicos com gestão ambiental no Brasil. **Revista de Gestão Social e Ambiental,** São Paulo, v. 8, n. 3, p.52-68, set. 2014.

DIAS, Nelson Wellausen; BATISTA, Getulio Teixeira. **Geoprocessamento:** uma ferramenta para o desenvolvimento regional sustentável. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/27458511_Geoprocessamento_uma_ferramenta_para_o_desenvolvimento_regional_sustentavel>. Acesso em: 20 jul. 2016.

DONEVSKA, Katerina R. et al. Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. **Environ Earth Sci,**[s.l.], v. 67, n. 1, p.121-131, 15 dez. 2011. Springer Science + Business Media. http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1485-y.

DUCATTI, Alexandre et al. Análise da paisagem por Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e métricas de paisagem como subsídio para tomada de decisões em nível ambiental. **Espacios,** Caracas, v. 32, n. 1, p.35-36, 2011.

EASTMAN, J. Ronald. **IDRISI for Windows:** Introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 240 p. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber.

EUA. SAN BERNARDINO COUNTY. **Geographic Information System:** Geoprocessing Services. 2016. Disponível em: <http://www.sbcounty.gov/isd/main/services/gis.aspx>. Acesso em: 12 jul. 2016.

FERREIRA, Marcos César. Paradigmas e modelos para a informatização geográfica em SIG. In: FERREIRA, Marcos César. **Iniciação à análise geoespacial.** São Paulo: Unesp, 2014. p. 50-52.

FERREIRA, Nilson Clementino. **Apostila de sistema de informações geográficas.** 2006. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1414/apostila_sig.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

FLORIANO, Eduardo Pagel. **Políticas de gestão ambiental.** 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2007. 111 p.

FONSECA, Marcelo Fernando. **Geotecnologias aplicadas ao diagnóstico do uso da terra no entorno do Reservatório de Salto Grande, município de Americana (SP), como subsídio ao planejamento territorial.** 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

HAMADA, Emília; GONÇALVES, Renata Ribeiro do Valle. **Introdução ao geoprocessamento:** princípios básicos e aplicação. Jaguariúna: Embrapa, 2007. 52 p.

HASENACK, Heinrich. O geoprocessamento no processo de tomada de decisão. **Boletim Gaúcho de Geografia,** Porto Alegre, n. 20, p.185-188, dez. 1995.

JERONYMO, Carlos André Luz. **Identificação de Áreas Prioritárias, com uso de Geoprocessamento, para Conservação e Recuperação Florestal da Área de Preservação**

Ambiental do Sana, Macaé-RJ. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2012.

JERONYMO, Carlos André Luz; SILVA, José Augusto Ferreira da. Proposta de manejo de paisagem na APA do Sana (Macaé-RJ). **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego,** Campos dos Goytacazes, v. 5, n. 2, p.173-201, jul. 2011.

LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da paisagem com SIG.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua. **Teoria dos jogos e sustentabilidade da tomada de decisão:** aplicação a sistemas de tratamento de esgoto. 2012. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

LONGLEY, Paul A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 560 p.

LORENZZETTI, João Antônio. **Princípios físicos de Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Blucher, 2015. 294 p.

MATIAS, Lindon Fonseca. **Sistema de Informações Geográficas (SIG):** teoria e método para representação do espaço geográfico. 2001. 325 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MEDEIROS, Gerson Araujo de; GIORDANO, Lucilia do Carmo; REIS, Fabio Augusto Gomes Vieira. Gestão ambiental. In: ROSA, André Henrique; FRACETO, Leonardo Fernandes; MOSCHINI-CARLOS, Viviane. **Meio ambiente e sustentabilidade.** Porto Alegre: Bookman, 2012. Cap. 16. p. 375-406.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: UNB, 2012. 276 p.

METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica,** Campinas, v. 1, n. 1, p.61-69, 2001.

MOTÉ, Fabricio de Oliveira; MARÇAL, Monica dos Santos; BONATTO, Gustavo. Uso e Cobertura da Terra Associado as Unidades de Relevo e Problemas Ambientais na Bacia do Rio Macaé (RJ). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais... .** Goiânia: UFG, 2006.

MUCHAILH, Mariese Cargnin. **Análise da paisagem visando à formação de corredores de biodiversidade:** Estudo de caso da porção superior da bacia do rio São Francisco Falso, Paraná. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NOVO, Evlyn Márcia L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto:** princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

PARREIRAS, Roberta Oliveira. **Algoritmos evolucionários e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério.** 2006. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PEDRON, Fabrício de Araújo et al. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine - RS. **Ciência Rural,** Santa Maria, n. 1, p.105-112, jan. 2006.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; SILVEIRA, Fernando Vicente. Saneamento ambiental e ecologia aplicada. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet (Ed.). **Curso de gestão ambiental.** Barueri: Manole, 2004. p.19-52.

PINHEIRO, Mariana Rodrigues de Carvalhaes. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à bacia hidrográfica do Rio Macaé.** 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Campos dos Goytacazes, 2008.

PINHEIRO, Mariana Rodrigues de Carvalhaes; KURY, Karla Aguiar. Conservação ambiental e conceitos básicos de ecologia. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego,** Campos dos Goytacazes, v.02, n.02, p.15-28, jul. 2008.

PINTO, Nelson Guilherme Machado et al. A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. In: SEMINÁRIO DE JOVENS PESQUISADORES EM ECONOMIA E DESENVOLVIMENTO, 1., 2013, Santa Maria. **Anais... .** Santa Maria: UFSM, 2013.

PIPPI, Luis Guilherme A.; LIMBERGER, Lucienne Rossi Lopes; LAZAROTTO, Gerusa. Recursos para representação e análise da paisagem. **Paisagem Ambiente: ensaios,** São Paulo, n. 25, p.105-126, 2008.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao geoprocessamento.** Ourinhos: Unesp, 2010. 46 p.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação.**2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.

PORTELA, Nilza Franco; BRAGA, Tânia Moreira. Conflitos federativos em gestão de recursos hídricos no Brasil: reflexões a partir do caso da bacia do rio Macaé (RJ). **Geografias,** Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p.74-85, jul. 2006.

REGO, Virgínia Villas Boas Sá. Cidadania e participação no Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego,** Campos dos Goytacazes, v. 4, n. 2, p.117-138, jul. 2010.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n. 16, p.81-90, 2005.

ROSA, Roberto. **Introdução ao geoprocessamento.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013. 142 p.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; PRETTE, Marcos Estevan del. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n. 12, p.89-121, 1998.

SAATY, Thomas L.. Risk-Its Priority and Probability: The Analytic Hierarchy Process. **Risk Analysis,** [s.l.], v. 7, n. 2, p.159-172, jun. 1987. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1111/j.1539-6924.1987.tb00980.x.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHÄFFER, Wigold Bertoldo et al. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação X Áreas de Risco:**O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília: MMA, 2011. 96 p.

SILVA, Gabriel Pabst da. Comitês de bacias hidrográficas e vocalizações sociais por recursos hídricos no Município de Macaé - Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 7., 2015, Santa Cruz do Sul. **Anais... .** Santa Cruz do Sul: Unisc, 2015.

SILVA, Luiz Fernando Tavares Cardoso da; BEZERRA, José Fernando Rodrigues; GUERRA, Antônio José Teixeira. Implicações da mudança na cobertura vegetal em relação à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Pedro - RJ. **Geonorte,** Manaus, v. 1, n. 6, p.1-16, 2012.

SILVEIRA, Fernando Vicente. Geoprocessamento como Instrumento de Gestão Ambiental. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet (Ed.). **Curso de gestão ambiental.** Barueri: Manole, 2004. p.945-968.

SOUSA, Maria Luiza Fausto de; TAVARES, Lorena B. Ballod. A incompatibilidade entre a capacidade da natureza e o paradigma materialista da sociedade atual. **Revista de Estudos Ambientais,** Blumenau, v. 15, n. 2, p.58-67, jul. 2013.

TÔSTO, Sérgio Gomes et al (Ed.). **Geotecnologias e Geoinformação:** o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa, 2014. 248 p.

WERNECK, Brunna Rocha. **Avaliação da Susceptibilidade à Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé com apoio do Geoprocessamento.**2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2010.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. O que é geoprocessamento? **Revista do CREA-RJ**, Rio de Janeiro, n. 79, p.42-44, out. 2009.

ARTIGO CIENTÍFICO II

MAPEAMENTO DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DESENVOLVIMENTO: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII – RJ

RESUMO

Buscou-se com a pesquisa a produção do mapeamento indicativo de sensibilidade ambiental para o desenvolvimento regional da Região Hidrográfica VIII (RH-VIII), no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. O estudo desenvolveu-se com a utilização dos softwares SPRING 5.5.0 e QGIS 2.18.6. O método de pesquisa baseia-se na Análise por Múltiplos Critérios (AMC), visando mapeamento de sensibilidade ambiental para o desenvolvimento regional da RH-VIII. O resultado revelou que 46% do território da RH-VIII apresenta alguma aptidão ao desenvolvimento enquanto mais 6% da área aponta extrema sensibilidade ambiental.

Palavras chaves: Geotecnologias. Uso das terras. Álgebra de mapas. Modelagem ambiental. Sensibilidade Ambiental.

MAPPING OF ENVIRONMENTAL SENSITIVITY TO DEVELOPMENT: CASE STUDY AT HYDROGRAPHIC REGION VIII – RJ

ABSTRACT

The research was carried out to produce the mapping of environmental sensitivity for the regional development of Hydrographic Region VIII (RH-VIII), in the State of Rio de Janeiro, Brazil. The study was developed using the software SPRING 5.5.0 and QGIS 2.18.6. The research method is based on Multi Criteria Analysis (AMC), aiming at mapping environmental sensitivity for the regional development of RH-VIII. The result showed that 46% of the territory of RH-VIII has some developmental aptitude while another 6% of the area indicates extreme environmental sensitivity.

Keywords: Geotechnology. Land use. Map Algebra. Environmental modeling. Environmental sensitivity.

1. INTRODUÇÃO

No contexto da gestão ambiental, a utilização adequada das terras é um dos grandes desafios atuais, visto que a sociedade a desconsidera na pretensão do desenvolvimento a qualquer custo. No entanto, para promover o uso adequado das terras, é necessária uma exploração relacionada à aptidão natural do ambiente, às questões legais, assim como ao interesse da sociedade.

O fomento ao planejamento ambiental efetua-se no desenvolvimento de metodologias que colaboram na tomada de decisão. Uma dessas metodologias é o desenvolvimento de mapas de vulnerabilidade ambiental, procedimento que consiste na avaliação das condições físico-ambientais de uma determinada unidade (PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

O desenvolvimento desse tipo de pesquisa está condicionado ao conhecimento das características do ambiente por um processo de modelagem espacial do meio, o que demanda um mapeamento preliminar com o intuito de produzir dados cartográficos de extrema importância, tanto para aplicação em pesquisas geográficas como para o planejamento ambiental (BARBOSA; FURRIER; LIMA, 2013).

Pretende-se com essa pesquisa apresentar procedimentos técnicos para o mapeamento de sensibilidade ambiental visando o desenvolvimento regional da Região Hidrográfica VIII (RH-VIII), por meio do método de Análise de Múltiplos Critérios (AMC) com apoio das Geotecnologias.

De acordo com Malczewski (2006), a AMC é um algoritmo matemático onde diferentes alternativas são comparadas na presença de vários critérios, estabelecidos de acordo com os objetivos propostos pelo estudo para apoiar a tomada de decisão.

Esse tipo de pesquisa apoiado em Geotecnologias, é exequível a partir do Processo Analítico Hierárquico ou em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP), método desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 70 para ser aplicado em processos de tomada de decisão (DIAS; SILVA, 2014). Segundo Oliveira et al. (2009), esse método vem sendo amplamente utilizado em estudos relacionados ao planejamento ambiental, trazendo resultados satisfatórios que apoiam a tomada de decisão em diversas regiões do Brasil.

O método AHP em Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser verificado em diversas aplicações no planejamento ambiental como: na avaliação da qualidade ambiental para gerar indicadores de sustentabilidade urbana, ordenamento territorial municipal, mapeamento de área de riscos, vulnerabilidade ambiental dentre outros (MORAS FILHO, 2015; RIBEIRO et al., 2016; BIZIAK, 2017).

Nas análises envolvendo as questões ambientais, o método AHP apresenta um desempenho significativo devido à possibilidade de agrupar um grande número de variáveis dentro de uma única avaliação. A eficiência dos resultados deve-se ao fato de que o método aplica uma comparação par a par entre as variáveis, considerando assim as diferentes atuações de cada variável em relação às questões ambientais estudadas (OLIVEIRA et al., 2009).

Esses estudos baseiam-se no princípio de que a natureza apresenta uma função intrínseca em relação as suas componentes físico-ambientais, método proposto por Ross (1994) para compreender a dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas, fundamentado pelo conceito de Unidade Ecodinâmica prescrito por Tricart (1977). Dessa forma, esses fundamentos consolidam o método, qualificando um processo capaz de subsidiar o planejamento ambiental.

O mapeamento de sensibilidade ambiental consiste na avaliação e verificação de uma determinada superfície com base nas suas características físico-ambientais, observando seus potenciais e limitações ao uso. Com a elaboração de uma base de dados de indicadores ambientais, torna-se possível um planejamento mais adequado ao desenvolvimento de atividades econômicas, bem como atividades de preservação e conservação ambiental.

Na presente pesquisa, utilizou-se o conceito de bacia hidrográfica como área de estudo. A bacia hidrográfica vem sendo amplamente utilizada como unidade territorial de planejamento por várias ciências, não apenas nas questões dos recursos hídricos, mas também em pesquisas que envolvem as interações dos elementos que a caracterizam (COSTA; SOUZA; SILVA, 2016).

A área de estudo está situada na RH-VIII, um importante manancial localizado na faixa costeira central-norte do Estado do Rio de Janeiro que além de abastecer toda região, seus recursos atendem boa parte das demandas hídricas das indústrias instaladas no local (PINHEIRO, 2008; BENASSULY, 2009).

O histórico do processo de degradação ambiental da RH-VIII é registrado desde o período colonial, e se considerarmos a tendência de desenvolvimento regional, a problemática tende a se agravar. No entanto, é constatado que na bacia há importantes remanescentes de Mata Atlântica a serem preservados, o que corrobora com a ideia de um planejamento territorial levando em consideração as questões ambientais (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

O mapeamento é um subsídio para organização da comunidade regional, gestão integrada das águas na unidade de gerenciamento de recursos hídricos RH-VIII e pode ser utilizado na promoção de políticas públicas de desenvolvimento local e regional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na faixa costeira central-norte do Estado do Rio de Janeiro e situa-se entre dois polos de desenvolvimento: ao sul, o turístico-comercial e ao norte, o petrolífero-canavieiro. Compõe-se por um conjunto de bacias hidrográficas, a saber: bacia do Rio Macaé, bacia do Rio das Ostras e a bacia da Lagoa de Imboassica, drenando uma área aproximada de 2.013 km² (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a). Limita-se pelas coordenadas geográficas dos paralelos de latitude sul 22°07’ e 22°33’ e os meridianos de longitude oeste 41°38’ e 42°35’ em Datum SIRGAS 2000 (Figura 1).

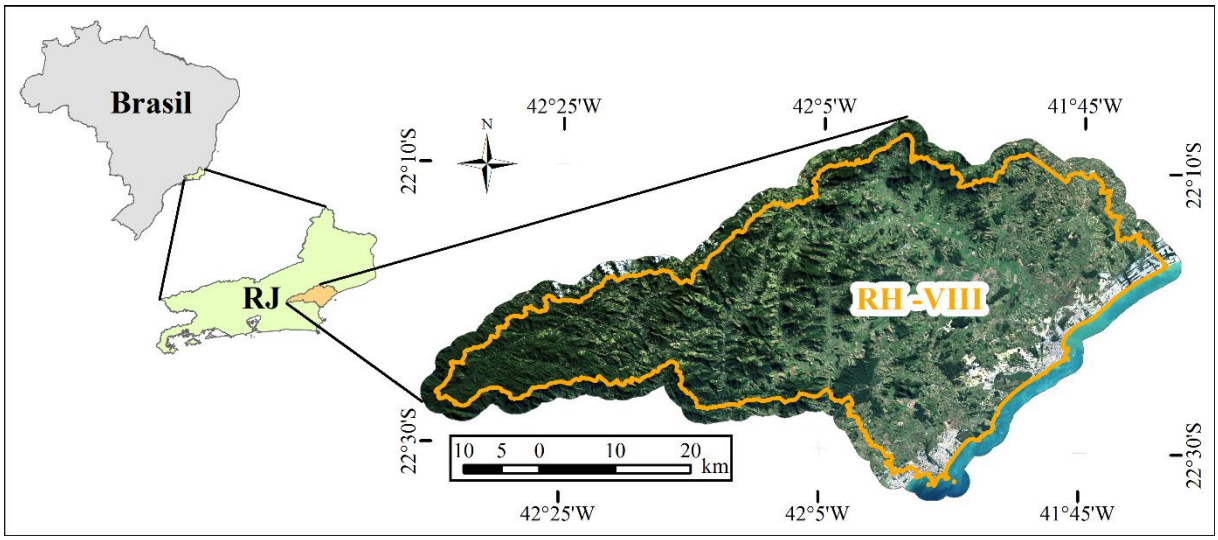

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autores (2017).

Devido a sua localização, a área apresenta uma diversidade de ambientes contando com uma porção serrana, no limite oeste - noroeste, passando por montanhas, morrotes, morros, colinas, planícies até os cordões litorâneos, no sentido sul - nordeste (BENASSULY, 2009). De acordo com Marçal e Luz (2003), a região é constituída pelas seguintes unidades geomorfológicas: escarpas serranas, maciços costeiros e superfícies aplainadas do litoral leste fluminense, planície aluvial, planície fluvio-lagunar e planície costeira.

A partir do avanço econômico no final dos anos 70, impulsionado pela indústria do petróleo que elegeu a cidade Macaé como base de apoio às atividades desenvolvidas na Bacia de Campos, houve uma transformação expressiva na paisagem da região, devido ao uso desordenado das terras provocado pelo crescimento populacional acelerado (MOTÉ; MARÇAL; BONATTO, 2006; SILVA; BEZERRA; GUERRA, 2012).

Quanto aos elementos ambientais, o destaque fica por conta da ocorrência de relevantes fragmentos de Mata Atlântica, em sua maior parte localizada na região serrana sob influência

da Serra do Mar. E embora o processo de ocupação humana seja predominante na porção litorânea, ainda há remanescentes de manguezais e restingas na região. Entretanto apenas uma parte dessas áreas estão sob um regime de proteção pelos órgãos públicos, possibilitando o uso inconsequente devido à pressão do desenvolvimento a qualquer custo (SILVA, 2015).

2.2. Material

Os materiais utilizados nessa pesquisa foram:

- **Imagens orbitais RapidEye** – Resolução espacial 5 m, Bandas: 1,2,3,5; Cenas: 2328725, 2328726, 2328727, 2328825, 2328826, 2328827, 2428702, 2428703, 2428802, 2428803 (disponibilizadas pelo Laboratório de Geomática do Instituto Federal Fluminense-IFF, licença acadêmica);
- **Modelo Digital de Elevação (MDE)** – Cenas: 27164se, 27172se, 27172so, 27173ne, 27173no, 27173se, 27173so, 27174ne, 27174no,27174se, 27174so, 27181se, 27181so, 27181no, 27182so, 27183ne, 27183no, 27183se, 27183so, 27184no, 27472ne, 27481no (disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística–IBGE);
- **Base Cartográfica em formato Shapefile de UC** – dados vetoriais das Unidades de Conservação (disponibilizados pelos órgãos públicos gestores);
- **Base Cartográfica em formato Shapefile de RL** – dados vetoriais das Reservas Legais propostas no Cadastro Ambiental Rural-CAR (disponibilizados pelo Sistema de Cadastro Ambiental Rural-SICAR);
- **Base Cartográfica em formato Shapefile de Hidrografia** – dados vetoriais da Rede Hidrográfica da área de estudo (disponibilizados pelo CBH Macaé Ostras);
- **Software Spring versão 5.5.0** – SIG com funções de processamento de imagens (software de uso livre);
- **Software QGIS versão 2.18.6-Las Palmas** – SIG com módulo de extensão de AMC-Easy AHP (software de uso livre); e,
- **Computador Laptop** – Processador Intel i7 Quad Core 1,80 GHz, SSD 250 GB, Memória RAM 8,0 GB, Interface Gráfica NVIDIA GT 740M 2,0 GB (uso pessoal).

2.3. Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente, realizou-se uma pesquisa de modo a identificar as classes temáticas que contribuem para o mapeamento de sensibilidade ambiental

ao desenvolvimento de atividades econômicas, a saber: uso das terras, unidades de conservação e restrições legais.

As classes temáticas constituíram uma base de dados que foi utilizada para a implementar um sistema de AMC fundamentado em matriz de comparação pareada AHP. Na Figura 2 apresenta-se o fluxograma dos procedimentos metodológicos do estudo.

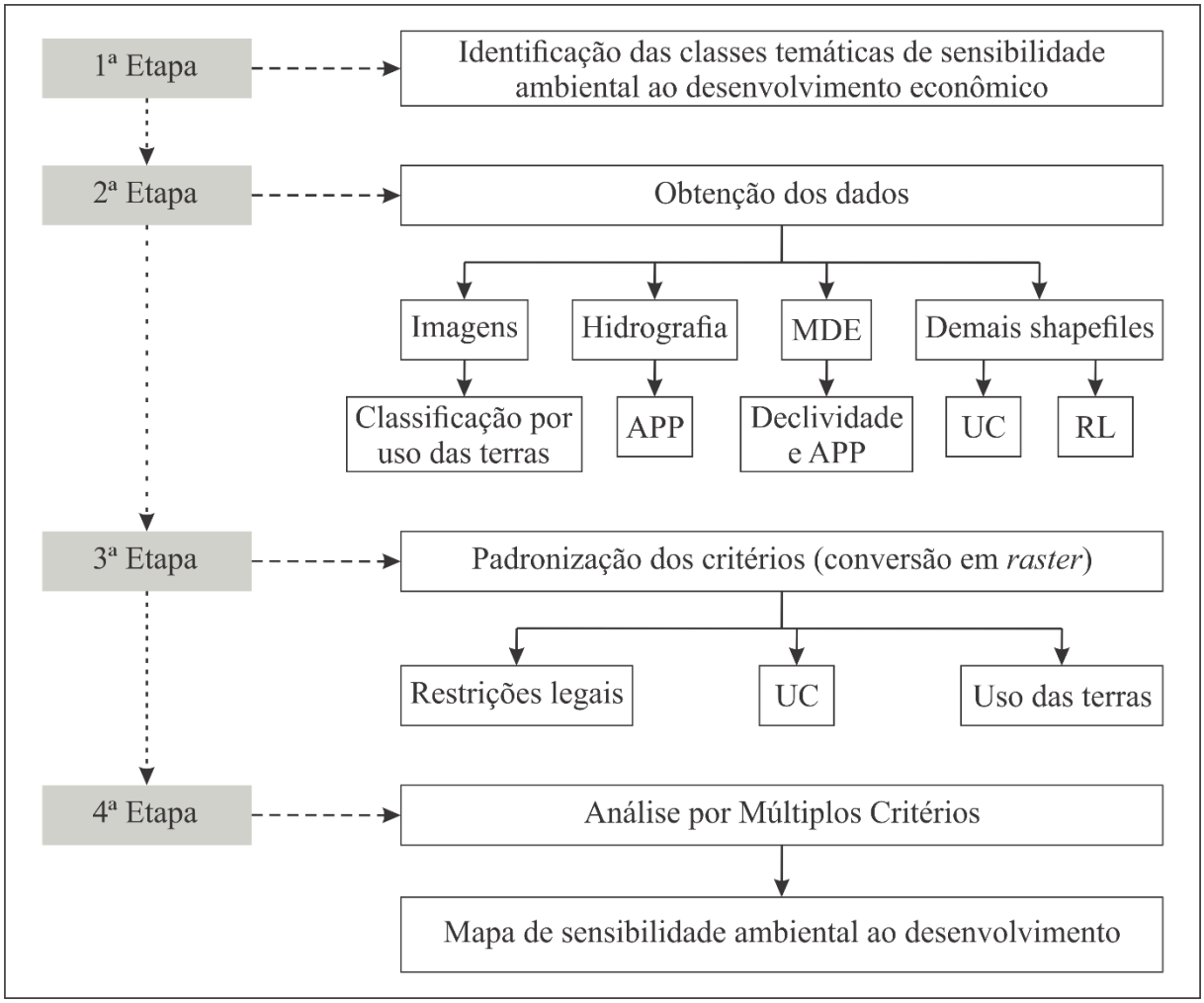

Figura 2 – Fluxograma metodológico. Fonte: Autores (2017).

O processo de AMC é conhecido pela qualificação dos fatores (unidades que indicam algum grau de aptidão ou uma limitação relativa para os objetivos propostos inicialmente) e restrições (unidades que possuem uma limitação absoluta de espaços específicos) (AREND et al., 2011). Existem diversos dispositivos legais que restringem o uso de algumas áreas. Porém, não são limitações absolutas podendo ocorrer algum tipo de atividade ou até mesmo a possibilidade de outro dispositivo anular as restrições para atender os interesses da sociedade (PERUZZO et al., 2009). Portanto, nesse estudo, as classes temáticas serão tratadas somente como fatores para efeitos de avaliação.

2.3.1. Mapa de uso das terras

Para o mapeamento e a caracterização dos elementos que compõem a área de estudo em unidades foram utilizadas imagens do sistema RapidEye com resolução espacial de cinco metros, sensoriadas no período de 03/03/2014 a 06/08/2014 (não foram disponibilizadas imagens mais recentes até o momento). As unidades utilizadas para classificação de uso das terras foram: área florestal, silvicultura, pastagem, águas, alagado, manguezal arbóreo, restinga, solo exposto, áreas urbanizadas, estradas, afloramento rochoso e sombras, tendo como base o manual técnico de mapeamento de uso das terras do IBGE (IBGE, 2013).

A escolha pelo sistema de sensores RapidEye foi motivada pela sua boa resolução espacial e as capacidades multiespectrais que viabilizam o processo de classificação digital (GUIMARÃES, 2013). As imagens RapidEye foram cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio de uma concessão de uso aos órgãos públicos e entidades de ensino e pesquisa. As características das imagens de satélite RapidEye estão no Quadro 1.

Atributo	Descrição
Tipo do sensor	Multiespectral (pushbroom imager)
Bandas espectrais	5 (Red, Green, Blue, Red-Edge, Near IR)
Resolução temporal	Diariamente (off-nadir); 5,5 dias (nadir)
Resolução espacial	6,5 m (nadir)
Tamanho do pixel	5,0 m (imagem ortorretificada)
Resolução espectral	Banda 1 – Blue – 440-510 nm
	Banda 2 – Green – 520-590 nm
	Banda 3 – Red – 630-685 nm
	Banda 4 – Red-Edge – 690-730 nm
	Banda 5 – Near-IR – 760-850 nm
Resolução radiométrica	12 bits (4096 níveis de cinza)
Capacidade de coleta	4,5 milhões de km²/dia

Quadro 1 – Caracterização do sistema RapidEye. Fonte: Embrapa (2013).

Como recurso de software, foi utilizado o Spring versão 5.5.0, software de SIG desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (INPE, 2017a).

As imagens adquiridas foram importadas para o ambiente Spring efetuando um recorte para a área de estudo – RH-VIII acrescida a um buffer de 2,0 km, proposta produzida pelo entendimento de que o entorno poderá influenciar na etapa de AMC. Para as cenas com a mesma data de coleta de dados foi realizado um mosaico no intuito de otimizar o processo de

classificação digital. Foram utilizadas as bandas 2, 3 e 5 com suas respectivas associações ao sistema *Red*, *Green* e *Blue*: 3R-5G-2B. Estas cenas estão representadas na Figura 3.

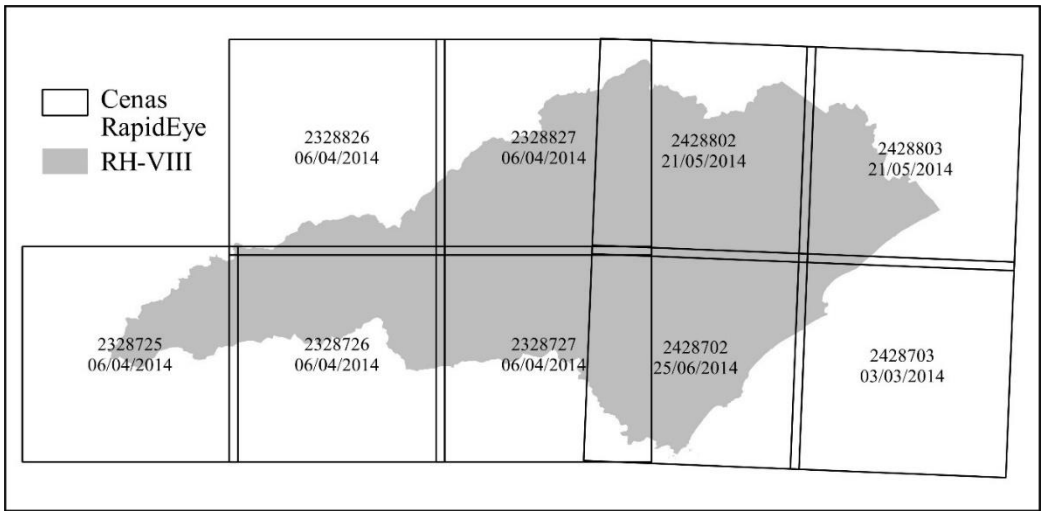

Figura 3 – Representação das cenas utilizadas. Fonte: Autores (2017)

Para o mapeamento do meio físico foi necessário o pré-processamento das imagens de satélite para correções e equalizações. Foram feitas as correções geométricas (georreferenciamento e ortorretificação das imagens) e radiométricas (eliminação de ruídos e correção atmosférica), conforme procedimentos metodológicos de Costa et al. (2016).

Embora as imagens RapidEye sejam fornecidas georreferenciadas, ou seja, com referência geográfica, uma correção é necessária por conta de eventuais deslocamentos entre cenas coletadas em datas distintas, exemplo demonstrado na Figura 4. Por isso, foi realizado o registro das imagens, conceituado como o processo que envolve a superposição de uma cena representada em duas ou mais imagens (cenas diferentes ou datas diferentes), tal que os pontos correspondentes nessas imagens coincidam espacialmente (MENESES, ALMEIDA; 2012).

Figura 4 – Demonstração do deslocamento entre cenas de datas diferentes. Fonte: Autores (2017).

Para a correção atmosférica, foi utilizado o método proposto por Antunes, Debiasi e Siqueira (2014), que é uma adaptação para as imagens RapidEye do modelo de transferência radioativa utilizando o 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum). A correção é efetivada a partir dos seguintes parâmetros: i) tipo de modelo de atmosfera gasosa (espalhamento Rayleigh); ii) tipo de modelo de aerossóis (espalhamento Mie); e iii) visibilidade horizontal (concentração de aerossóis, em km).

Após o pré-processamento das imagens, foi executada a técnica de realce de contraste, a fim de melhorar a qualidade da imagem, com opção de equalizar o histograma. O processo modifica, através de funções matemáticas, os valores digitais da imagem alterando a amplitude de registro de informações, de modo a destacar determinada faixa espectral e melhorar a qualidade visual da imagem (SILVA et al., 2009).

Após a aplicação da técnica de realce de contraste, foi salva uma imagem sintética com a composição 3R-5G-2B a fim de auxiliar posteriormente na fotointerpretação. A Fotointerpretação pode ser definida como a arte de examinar as imagens e deduzir a sua significação (SILVA et al., 2009).

Para a classificação das imagens, optou-se pelo método supervisionado pixel-a-pixel utilizando o algoritmo classificador baseado por máxima verossimilhança (MaxVer). A utilização do método MaxVer em imagens RapidEye desenvolve um ótimo desempenho para classificação de imagens para o mapeamento temático de uso das terras (DEMARCHI; SARTORI; ZIMBACK, 2011; CATTANI et al., 2013).

Dos métodos disponíveis para extração de informações da cobertura superficial da terra a partir dos produtos de sensoriamento remoto, o algoritmo de classificação supervisionado por MaxVer continua a ser o algoritmo de classificação paramétrica mais utilizado pelos profissionais (JENSEN, 2011).

O algoritmo MaxVer é baseado na ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes utilizando-se de parâmetros estatísticos. A técnica utiliza-se das informações de assinatura espectral de cada pixel isolado para identificar semelhanças entre as regiões homogêneas, traçando assim uma probabilidade de um determinado pixel analisado pertencer ou não a uma determinada classe (INPE, 2017b).

O MaxVer requer um conhecimento prévio da área de estudo para que sejam coletados pontos amostrais dos elementos de uso das terras a serem identificados na classificação automática (GUIMARÃES, 2013). Sendo assim, no dia 26/05/2017, realizou-se uma visita na área de estudo para identificar as classes de uso e cobertura e também coletar pontos amostrais presentes na região.

O algoritmo MaxVer foi executado nas imagens realçadas de acordo com um conjunto de amostras obtidas no treinamento. Nesse tipo de classificação, o operador define o número de classes de acordo com o conhecimento da área. Portanto, a classificação através do MaxVer é realizada em duas etapas:

a) Treinamento – onde são selecionadas amostras em áreas representativas de cada tipo de uso das terras. As amostras de cada classe foram selecionadas para treinamento com base na coleta de pontos amostrais da visita de campo e na fotointerpretação das imagens sintéticas. Ainda nesta etapa é realizada uma análise das amostras com base no histograma (comparação da verdade terrestre com a classificação produzida a partir da matriz de confusão demonstrada no Quadro 2).

b) Classificação – nesta etapa foi executado o algoritmo classificador MaxVer-ICM com limiar de aceitação de 99,9% onde foi calculada a probabilidade de um dado pixel pertencer a cada classe fornecida ao sistema na fase de treinamento por exibir características comuns. O pixel é então associado à classe com maior probabilidade de pertencer.

A partir da matriz de confusão é possível qualificar a classificação da imagem pelo desempenho geral das amostras que foi de 95% de exatidão global, juntamente com o índice *Kappa* que foi calculado em 0,93 e de acordo com Landis e Koch (1977) representa uma classificação de excelente qualidade.

Classes	**Área florestal**	**Silvicultura**	**Pastagem**	**Águas**	**Solo exposto**	**Áreas urbanizadas**	**Afloramento rochoso**	**Estradas**	**Alagado**
Área florestal	30152	2578	674	0	0	0	0	0	0
Silvicultura	561	1841	19	0	0	0	0	0	0
Pastagem	256	154	28228	0	0	0	364	38	325
Águas	13	0	0	33269	1	153	0	6	13
Solo exposto	0	0	1	0	5188	160	0	0	51
Áreas urbanizadas	0	0	2	0	48	2033	0	33	4
Afloramento rochoso	0	0	1	122	0	0	317	6	12
Estradas	0	0	0	84	0	190	0	138	0
Alagado	0	0	0	0	59	171	20	89	20315

Quadro 2 – Matriz de confusão das amostras produzidas. Fonte: Autores (2017).

A pós-classificação de uma imagem classificada é um procedimento que tem por objetivo uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente

de sua vizinhança (SANTOS; PELUZIO; SAITO, 2010). Realizou-se esse procedimento no intuito de gerar uma imagem com aparência menos ruidosa.

Após os resultados da pós-classificação, executou-se o mapeamento das classes de modo a quantificar o uso das terras. Esse procedimento é tipificado pela vetorização de cada uma das classes, sendo realizado na tarefa “Mapeamento” no próprio módulo “Classificação” do software Spring. Os arquivos vetoriais das classes de uso das terras foram migrados para o ambiente do software QGIS 2.18.6 para elaboração do mapa temático final.

2.3.2. Análise por Múltiplos Critérios – AMC

Para elaboração do mapa de sensibilidade ambiental ao desenvolvimento econômico foram analisados, simultaneamente, os fatores que de alguma forma limitam ou contribuem para o desenvolvimento de atividades econômicas. Estes fatores, serviram como dados de entrada para o módulo EASY AHP do software QGIS.

Para o estudo de sensibilidade ambiental, por meio de mapeamento, o método AHP possibilita a determinação do grau de importância das variáveis escolhidas através da comparação em pares, ou seja, avalia-se uma variável em relação à outra (PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

Após a definição temática e a seleção das classes a serem utilizadas no método, é necessário a determinação de importância relativa entre critérios. Para isso, utiliza-se a escala de pesos definida por Saaty (1977), o que pode ser observada no Quadro 3.

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importantes que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Quadro 3 - Escala de comparadores de importância relativa. Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Em virtude das classes e unidades naturais dos fatores utilizados nas rotinas de AMC serem diferentes, faz-se necessária a padronização desses fatores (AREND et al, 2011). Dessa forma foi definido que cada componente das classes fosse escalonado no intervalo de valor 0 a 1,0 de acordo com o método geossistêmico. Quanto mais próximo do valor 0 (zero), menor será

a contribuição à sensibilidade ambiental, e quanto mais próximo de 1,0 (um) maior será sua contribuição à sensibilidade ambiental, como demonstrado na Figura 05.

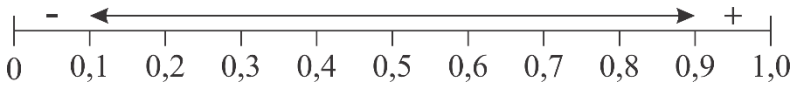

Figura 5 - Representação gráfica da escala de sensibilidade ambiental. Fonte: Adaptado de Paula (2008).

Para o desempenho da AMC em ambiente SIG, é necessário que os dados espaciais estejam em formato *raster* (matricial). Com a transformação das classes temáticas para o formato *raster*, foi possível fazer a classificação dos pixels de acordo com a escala de sensibilidade ambiental no processo de rasteirização. No Quadro 4, exibe-se os valores de sensibilidade de cada unidade das classes temáticas.

Componente Ambiental	Classes	Valores
Uso das terras	Área florestal	0,9
	Silvicultura	0,5
	Pastagem	0,4
	Restinga	1,0
	Manguezal arbóreo	1,0
	Águas	1,0
	Alagado	0,3
	Solo exposto	0,2
	Áreas urbanizadas	0,1
	Estradas	0,1
	Afloramento rochoso	0,8
Unidades de conservação	Proteção integral	1,0
	Uso sustentável	0,6
Restrições legais	APP	0,9
	Uso restrito	0,5
	Reserva legal	0,9

Quadro 4 - Valores atribuídos as unidades mapeadas da RH-VIII. Fonte: Autores (2017).

Quanto à ponderação dos fatores, pode-se dizer que eles são comparados par a par para determinação de uma importância relativa e regulada por uma compensação entre eles. Dessa forma constrói-se a Matriz de Comparação Pareada (MCP), apresentada no Quadro 5.

Matriz de pesos	Uso das terras	UC	Restrições legais
Uso das terras	1	3	4
UC	1/3	1	2
Restrições legais	1/4	1/2	1

Quadro 5 - Matriz de comparação pareada. Fonte: Autores (2017).

Após alimentar o módulo AHP com os valores da MCP é possível realizar o cálculo dos indicadores de consistência do modelo AHP. No estudo foram obtidos os seguintes resultados: o valor resultante em λ (3,017), recomenda-se que fique próximo do número de fatores (3 variáveis); o valor de IC (Índice de Consistência) igual a 0,008, este deve estar o mais próximo possível de zero; e a RC (Razão de Consistência) igual a 0,014, este indicador deve ser inferior a 0,10. Ressalta-se que os valores atendem à recomendação da metodologia Saaty (1977) para que a matriz seja considerada consistente.

A comparação pareada dos componentes ambientais possibilitou a construção do Quadro 6, que exibe os valores dos pesos de cada componente, ou seja, quanto cada componente contribui para a sensibilidade ambiental da RH-VIII. O cálculo dos pesos foi realizado no módulo EASY AHP do QGIS.

Classes	**Pesos de compensação**
Uso das terras	0,623
UC	0,239
Restrições legais	0,137

Quadro 6 – Peso das classes temáticas. Fonte: Autores (2017).

A execução da rotina de AHP é finalizada pelo método de combinação linear ponderada, onde os fatores reescalonados são agregados após serem multiplicados por seu peso correspondente; em seguida, somados e o resultado dessa soma, dividido pelo número de fatores. A combinação ponderada é calculada para cada pixel na imagem permitindo a compensação entre os fatores (CAXIETA et al., 2012).

O resultado foi uma superfície de decisão que variou seus valores de sensibilidade ambiental entre 0,09 e 0,98. A superfície de decisão pode ser fragmentada de acordo com o objetivo do estudo, e após alguns testes, foi definido uma fragmentação em cinco classes para a superfície de decisão da RH-VIII, representadas no Quadro 7.

Classes	**Intervalo**
Fracamente sensível	de 0,09 até 0,2
Levemente sensível	acima de 0,2 até 0,4
Moderadamente sensível	acima de 0,4 até 0,6
Fortemente sensível	acima de 0,6 até 0,8
Extremamente sensível	acima de 0,8 até 0,98

Quadro 7 – Classes de fragmentação. Fonte: Autores (2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados iniciais coletados, produziu-se os mapas preliminares que caracterizam a área de estudo, estruturando uma base de informações com indicações das potencialidades e restrições ao desenvolvimento econômico da RH-VIII.

Quanto ao uso das terras na RH-VIII, ainda há um predomínio das atividades agropecuárias, apesar do desenvolvimento intenso das atividades da indústria de petróleo nas últimas décadas. O aspecto atual da região é um reflexo das transições históricas dos ciclos de ocupação e exploração da região, desde a introdução dos plantios da cana de açúcar, do café e da banana, da pecuária extensiva de corte, até mais recentemente, a expansão das áreas urbanas com a introdução da indústria do Petróleo e do turismo (CBH MACAÉ/OSTRAS, 2012a).

As restrições legais são unidades onde as limitações podem inviabilizar ou apresentar algum tipo risco ao desenvolvimento, sendo regida por instrumentos legais. Apenas uma pequena porção é coberta por UC na RH-VIII, concentrando-se na região serrana, o que contribui consideravelmente para preservação nas áreas de incidência.

A partir de uma análise dos mapas preliminares relativos aos critérios, é possível extrair informações pertinentes à distribuição bem como a área de incidência de cada unidade que está sendo analisada, demonstrado no Quadro 8.

Critério de análise	Unidades	Área ocupada (%)
Uso das terras	Área florestal	44,97
	Silvicultura	0,22
	Pastagem	46,19
	Restinga	0,58
	Manguezal arbóreo	0,10
	Águas	1,03
	Alagado	1,43
	Solo exposto	0,91
	Áreas urbanizadas	3,29
	Estradas	0,61
	Afloramento rochoso	0,46
	Sem representação	0,21
UC	Proteção integral	3,92
	Uso sustentável	24,58
	Sem representação	71,50
Restrições legais	APP	9,44
	Uso restrito	23,15
	Reserva legal	9,09
	Sem representação	58,32

Quadro 8 – Representação da incidência de cada unidade. Fonte: Autores (2017).

Com as técnicas de análise e cruzamento de dados em geoprocessamento, torna-se possível a obtenção de um novo mapa, o de sensibilidade ambiental visando o desenvolvimento regional, obtido através da interpolação dos seguintes critérios: uso das terras, unidades de conservação e restrições legais.

Antes da geração do mapa de sensibilidade ambiental ao desenvolvimento econômico pelo método AMC, foi necessária uma caracterização das unidades mapeadas com o intuito de modelar os dados num padrão favorável ao processamento via AHP. Tendo como resultado um mapeamento em conformidade com os objetivos propostos.

3.1. Caracterização das unidades para padronização dos dados

A padronização dos dados preliminares em mapas de formato numérico teve como base as informações contidas na caracterização das unidades mapeadas, sendo essas unidades adotadas como fatores. Portanto, a descrição de cada unidade foi orientada de acordo com a sua sensibilidade ao desenvolvimento, proporcionando coerência aos valores atribuídos. O que pode ser observado no Quadro 9.

(continua)

Tipologia	Descrição	Fotografia ilustrativa
Área florestal	Área sob cobertura vegetal natural, representada por uma floresta homogênea ou até mesmo por fragmentos de médio porte. Suas características favorecem o funcionamento ideal dos ecossistemas.	
Silvicultura	Área cuja vegetação caracteriza-se por uma espécie predominante, as vezes classificada erroneamente como reflorestamento. Nessa classe foram identificadas também algumas culturas agrícolas.	
Pastagem	Área de cobertura vegetal predominantemente rasteira, usada exclusivamente para pecuária. A atividade representa uma alta degradação. Porém, é possível a recuperação ambiental de suas áreas.	
Restinga	Área situada em terrenos predominantemente arenosos, de origens marinha, fluvial ou lagunar, compreendendo comunidades vegetais que formam um complexo vegetacional edáfico e pioneiro.	

(continuação)

Manguezal arbóreo	Área que ocorre na transição entre a terra e o mar, formando um ecossistema costeiro que apresenta condições ideais para reprodução e desenvolvimento de várias espécies, dentre outras importantes funções ambientais.	
Águas	Unidades de representação dos reservatórios e cursos de água superficiais. O desenvolvimento sob essas áreas é bastante restrito; porém, o recurso natural pode ser captado para atender as demandas humanas.	
Alagado	Área de topografia plana, encharcada, localizada nas regiões de cabeceira ou em zonas de transbordamento de rio. O solo se apresenta sob baixa estabilidade e é impróprio para o desenvolvimento.	
Solo exposto	Área ausente de cobertura vegetal cuja exposição está sujeita à erosão e ao enfraquecimento do solo. Nessa classe, foram identificadas também as estradas não pavimentadas.	
Áreas urbanizadas	Áreas classificadas como “uso consolidado”. A reversão do impacto é problemática devido às questões sociais. Nesse caso, têm baixíssimas limitações quanto ao desenvolvimento.	
Estradas	Assim como a ocupação urbana, são áreas classificadas como “uso consolidado”. Considerada por muitos autores, como o principal vetor de contribuição para o desenvolvimento.	
Afloramento rochoso	Área de baixa aptidão ao uso onde a camada rochosa se apresenta exposta na superfície. Em alguns casos, é permitido o uso direto do recurso natural. Porém, apresenta como uma atividade de significativo impacto ambiental.	
Unidades de Conservação de Uso Sustentável	Áreas que visam conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais. O uso direto dos recursos naturais é permitido, desde que sejam garantidos a perenidade dos recursos ambientais.	
Unidades de Conservação de Proteção Integral	São unidades com regras e normas mais restritivas, pois o principal objetivo dessas unidades é a proteção da natureza. Nesse grupo é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais.	

(conclusão)

APP (Área de Preservação Permanente)	Área que apresenta risco quanto ao uso. Quando protegida, exerce importantes funções ambientais. Seu uso está condicionado: à utilidade pública, ao interesse social ou à atividade baixo impacto ambiental.	
Áreas de uso restrito	Áreas de inclinação entre 25° a 45°, onde é permitido apenas o manejo sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris. Os demais usos estão condicionados: à utilidade pública e interesse social.	
Reserva Legal	Área localizada no interior das propriedades rurais com objetivo de promover a conservação da biodiversidade. Nela é permitido o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais	

Quadro 9 – Chave de caracterização das unidades mapeadas. Fonte: Autores (2017).

A partir da caracterização das unidades frente às questões ambientais, foi possível atribuir valores de sensibilidade para cada fator (unidade) em relação ao desenvolvimento das atividades econômicas. Esta etapa assume uma função preponderante para alcançar os objetivos propostos, visto que esses valores serão utilizados no algoritmo de AMC e irão assumir o papel de indicadores de sensibilidade ambiental para cada unidade mapeada.

3.2. Mapa de sensibilidade ambiental

Para finalização do método proposto, realizou-se o cruzamento dos três mapeamentos preliminares contendo os fatores de sensibilidade ambiental. São eles: uso das terras, restrições legais e unidades de conservação. Nesse processo foi utilizado a ferramenta EASY AHP, um modulo de extensão ao software QGIS desenvolvido para aplicação em estudos de abordagem de AMC em ambiente de SIG.

Esse procedimento em aplicativos de SIG caracteriza-se pela sobreposição dos mapas de fatores, permitindo a realização de operações matemáticas célula a célula ou pixel a pixel de acordo com a padronização das unidades e ponderação dos critérios feitas pelo usuário, tendo como produto um mapa de superfície contendo os resultados das operações matemáticas para cada célula ou pixel.

O mapa resultante apresentou valores entre 0,09 e 0,98, sendo que quanto mais próximo de zero menor é sensibilidade ambiental para desenvolvimento de atividades econômicas. Para uma melhor apresentação e quantificação do mapa final, a superfície foi fragmentada em cinco classes. O mapa final pode ser visualizado na Figura 6.

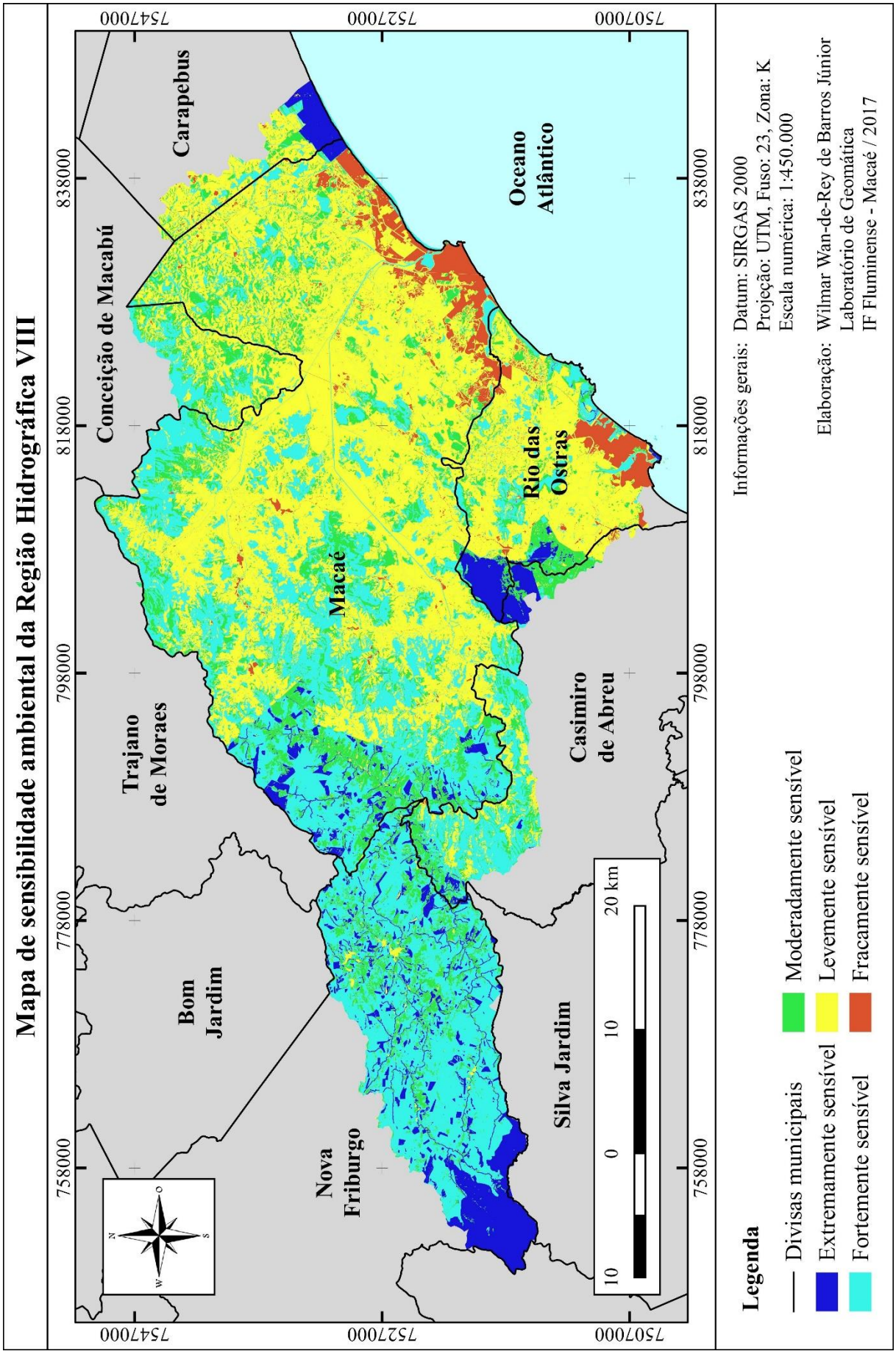

Figura 6 – Mapa de sensibilidade ambiental da Região Hidrográfica VIII. Fonte: Autores (2017).

O mapa de sensibilidade ambiental apresenta diferentes potenciais ao desenvolvimento de atividades econômicas na RH-VIII. Um trabalho baseado em levantamento das características físico-ambientais para apresentar diferentes níveis de vulnerabilidade à dinâmica geoambiental, considerado um produto de suporte na tomada de decisão. A quantificação das classes é exposta no Quadro 10.

Classes	**Área (ha)**	**Área (km²)**	**Representação (%)**
Fracamente sensível	7.654,06	76,54	3,80
Levemente sensível	85.179,98	851,79	42,29
Moderadamente sensível	33.636,77	336,36	16,70
Fortemente sensível	61.176,57	611,76	30,37
Extremamente sensível	13.789,54	137,89	6,84
Total	201.436,92	2.014,36	100,00

Quadro 10 – Quantificação das classes de sensibilidade ambiental. Fonte: Autores (2017).

As áreas classificadas como “Fracamente sensível” são as que apresentam, em geral, baixas limitações quanto ao desenvolvimento. São áreas onde já se efetuou um desenvolvimento significativo. Caracteriza-se pelo uso antrópico consolidado (ocupação urbana e estradas) e sem a presença de restrições ambientais e ou unidades de conservação. Em alguns pontos isolados, essa classificação ocorreu em consequência das imagens utilizadas na etapa de mapeamento apresentarem algumas irregularidades que dificultaram tratamento, como a presença de nuvens.

A região indicada como “Levemente sensível” é a de maior expressividade no mapa (42,29%). Representa as áreas de uso intensivo das terras; porém, de baixa contribuição para consolidar o uso, e a sua qualificação é devido à inexistência de restrições ambientais e unidades de conservação em sua extensão.

A classe “Moderadamente sensível” representa as áreas localizadas sob alguma restrição ambiental e ou UC. Entretanto, houve uma alteração do ambiente por conta do uso antrópico de média intensidade. Permitindo ações de recuperação ambiental, dando retorno as características naturais, estruturais e funcionais próximas ao que era originalmente.

As áreas classificadas como “Fortemente sensível” representam as áreas onde o uso antrópico não é tão expressivo ou se encontram bem próximas as características naturais, e pelo fato de ter contemplado um dos critérios de restrições legais ou UC de uso sustentável, teve sua sensibilidade ao desenvolvimento elevada.

Por fim, a classe “Extremamente sensível” representa as áreas mais inadequadas ao desenvolvimento. Sua classificação é dada em razão das áreas não apresentarem algum tipo de

uso antrópico significativo e por estarem sob algum tipo de proteção, compartilhando os critérios de UC e ou restrições legais.

Cerca de 46,09 % da área possui alguma aptidão ao desenvolvimento, onde é necessária uma avaliação quanto ao tipo de atividade para indicar o melhor posicionamento. No entanto, observou-se que na RH-VIII, de modo geral as classes mais sensíveis apresentam uma baixa ocupação urbana, admitindo um potencial a recuperação as unidades que não possui algum tipo aptidão o desenvolvimento.

4. CONCLUSÕES

O uso das Geotecnologias é uma aplicação indispensável nas atividades de planejamento ambiental. Entretanto, buscou-se com a pesquisa uma proposta metodológica para determinação da sensibilidade ambiental ao desenvolvimento auxiliada pelo método AHP. Estudos dessa natureza expõem uma aplicação capaz de conciliar desenvolvimento econômico tendo a perspectiva da gestão ambiental.

Nos resultados expostos foi constatado que a RH-VIII possui 46,09% da sua superfície apresentando baixa sensibilidade ambiental, devido à inexistência de UC e restrições legais ao uso dessas áreas. Na região de maior sensibilidade o uso antrópico é de baixa intensidade, o que viabiliza a recuperação das áreas sob alguma limitação ambiental, representada por 16,70% da área total estudada.

É pertinente destacar que produto final desse estudo reproduz a interpretação dos autores, na padronização dos critérios e na construção da matriz de comparação pareada. Em trabalhos que dão suporte à tomada de decisão é fundamental que o produto apresente imparcialidade nos resultados, sendo assim, necessário a consulta de especialistas multidisciplinares, bem como consideração novos critérios.

Por fim, com o desenvolvimento da pesquisa foi possível gerar um mapeamento capaz de demonstrar a sensibilidade ambiental da RH-VIII, fornecendo aos gestores e profissionais da área, subsídios ao planejamento ambiental.

5. REFERÊNCIAS

ANTUNES, Mauro Antonio Homem; DEBIASI, Paula; SIQUEIRA, Jéssica Caroline dos Santos. Avaliação espectral e geométrica das imagens RapidEye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 66, p.101-113, jan. 2014.

AREND, Mara Regina et al. Múltiplos Critérios de Apoio à Decisão em SIG para a Promoção de Sistemas Orgânicos de Produção Agropecuária no Município de Arroio do Meio - RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: Inpe, 2011. p. 423 - 430.

BARBOSA, Maria Emanuella Firmino; FURRIER, Max; LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. Mapeamento de adequação de uso das terras através da técnica de análise de multicritério em ambiente SIG: estudo de caso do município de conde - PB, Brasil. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, Bogotá, v. 22, n. 1, p.13-23, 2013.

BENASSULY, Carolina Cloris Lopes. **Avaliação de redes de monitoramento de recursos hídricos:** estudo aplicado às águas superficiais na bacia do Rio Macaé. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.

BIZIAK, Lucas Dovigo. **Sustentabilidade Urbana: avaliação da qualidade ambiental do setor central de Uberlândia-MG.** 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Qualidade Ambiental, Ufu, Uberlândia, 2017.

CAXIETA, Paulo Ricardo Corrêa et al. Análise Multi-Critério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa na área urbana de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIêNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. **Anais...** . Recife: UFPE, 2012. p. 1 - 9.

CATTANI, Carlos Eduardo Vizzotto et al. Desempenho de algoritmos de classificação supervisionada para imagens dos satélites RapidEye. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 8005 - 8010.

CBH MACAÉ/OSTRAS - Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Ambiente. **Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica Macaé e das Ostras:** Relatório de caracterização da região hidrográfica Macaé e das Ostras. 2012. 91 p.

COSTA, Elias Mendes et al. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p.1417-1427, set. 2016.

COSTA, Franklin Roberto da; SOUZA, Raquel Franco de; SILVA, Sebastião Milton Pinheiro da. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p.429-442, dez. 2016.

DEMARCHI, Julio Cesar; SARTORI, Anderson Antonio da Conceição; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Métodos de classificação de imagens orbitais para o mapeamento do uso do solo: estudo de caso na Sub-Bacia do Córrego das Três Barras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: Inpe, 2011. p. 2644 - 2651.

DIAS, Valdirene Silva Brito; SILVA, Ardemírio de Barros da. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 66, p.1363-1377, nov. 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **RapidEye**. 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_rapideye.html>. Acesso em: 6 mar. 2017.

GUIMARÃES, Clécia Cristina Barbosa. **Paisagens sertanejas:** Uso e cobertura das terras e adequabilidade no sertão central do Ceará. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que é o SPRING?**. 2017a. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>. Acesso em: 20 abr. 2017.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Classificação de Imagens:** O que é classificação?. 2017b. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acesso em: 20 abr. 2017.

JENSEN, John R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011. 698 p.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G.. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p.159-174, mar. 1977.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of 201 São Paulo, Unesp, **Geociências**, v. 33, n. 2, p.192-201, 2014 Geographical Information Science, v. 20, n. 7, August 2006, p. 703–726.

MARÇAL, Mônica dos Santos; LUZ, Luziane Mesquita da. Geomorfologia aplicada a classificação de unidade de paisagem na bacia do Rio Macaé – Litoral Norte Fluminense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais... .** Rio de Janeiro: Uerj, 2003.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012. 276 p.

MORAS FILHO, Luiz Otávio. **Método de inferência espacial para o ordenamento territorial de municípios de pequeno porte:** o caso de Ijaci, MG. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Ufla, Lavras, 2015.

MOTÉ, Fabricio de Oliveira; MARÇAL, Monica dos Santos; BONATTO, Gustavo. Uso e Cobertura da Terra Associado as Unidades de Relevo e Problemas Ambientais na Bacia do Rio Macaé (RJ). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais... .** Goiânia: UFG, 2006.

OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches de et al. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências,** São Paulo, v. 24, n. 4, p.417-424, 2009.

PINHEIRO, Mariana Rodrigues de Carvalhaes. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à bacia hidrográfica do Rio Macaé.** 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Campos dos Goytacazes, 2008.

RIBEIRO, André dos Santos et al. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 1, p.16-31, 2016.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal Of Mathematical Psychology**, [s.l.], v. 15, n. 3, p.234-281, jun. 1977. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; PELUZIO, Telma Machado de Oliveira; SAITO, Nathália Suemi. **SPRING 5.1.2:** passo a passo: aplicações e práticas. Alegre: Caufes, 2010. 155 p.

SILVA, Gabriel Pabst da. Comitês de bacias hidrográficas e vocalizações sociais por recursos hídricos no Município de Macaé - Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 7., 2015, Santa Cruz do Sul. **Anais... .** Santa Cruz do Sul: Unisc, 2015.

SILVA, Laís Coelho do Nascimento et al. Uso do solo no manejo de bacias hidrográficas: o caso da microbacia Córrego Prata, Três Lagoas MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, n. 1, p.1-13, jan. 2009.

SILVA, Luiz Fernando Tavares Cardoso da; BEZERRA, José Fernando Rodrigues; GUERRA, Antônio José Teixeira. Implicações da mudança na cobertura vegetal em relação à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Pedro - RJ. **Geonorte,** Manaus, v. 1, n. 6, p.1-16, 2012.

PERUZZO, Ariane et al. Aspectos jurídicos sobre a reserva legal e a área de preservação permanente. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMBIENTE, 1., 2009, Cascavel. **Anais...** . Cascavel: Unioeste, 2009. p. 1 - 8.

PINESE JÚNIOR, José Fernando; RODRIGUES, Silvio Carlos. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 23, p.4-26, fev. 2012.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p.63-74, 1994. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. http://dx.doi.org/10.7154/rdg.1994.0008.0006.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 96 p.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

CBH MACAÉ/OSTRAS - Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Ambiente. **Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica Macaé e das Ostras:** Relatório de caracterização da região hidrográfica Macaé e das Ostras. 2012a. 91 p.

CBH MACAÉ/OSTRAS - Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras (Rio de Janeiro). Secretaria Estadual do Ambiente. **Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica Macaé e das Ostras:** Plano de trabalho consolidado. 2012b. 149 p.

COLAVITE, Ana Paula. **Geotecnologias aplicadas a análise da paisagem na bacia hidrográfica do Rio do Campo, Paraná - Brasil.** 2016. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Hidrologia/04.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016.

CORRÊA, Rosália Silva; SILVA, Raimundo Vicente Baia. Ocupação urbana e degradação ambiental: ocupação, simbolismo e cidadania ambiental no bairro do Paraíso, Mosqueiro – PA. **Revista Perspectivas do Desenvolvimento: um enfoque multidimensional,** Brasília, v. 3, n. 4, p.1-25, jul. 2015.

LOPES, Elfany Reis do Nascimento; REUSS-STRENZEL, Gil Marcelo. Utilização de análise multicriterial para propor o zoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental de Guaibim, Bahia, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais... .** João Pessoa: Inpe, 2015. p. 3151 - 3158.

MACIEL, Ana Beatriz Câmara; LIMA, Zuleide Maria Carvalho; LIMA, Janny Suenia Dias de. Diversidade de olhares: a evolução do conceito de paisagem no decorrer das décadas. **Geonorte,** Manaus, v. 3, n. 4, p.887-899, 2012.

MOTÉ, Fabricio de Oliveira; MARÇAL, Monica dos Santos; BONATTO, Gustavo. Uso e Cobertura da Terra Associado as Unidades de Relevo e Problemas Ambientais na Bacia do Rio Macaé (RJ). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais... .** Goiânia: UFG, 2006.

MOURA, Ana Clara Mourão. Geotecnologias na interpretação da paisagem e gestão do patrimônio cultural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008, Recife. **Anais... .**Recife: UFPE, 2008.

SCHÄFFER, Wigold Bertoldo et al. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação X Áreas de Risco:**O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília: MMA, 2011. 96 p.

SILVA, Jonathas Magalhães Pereira da; TÂNGARI, Vera Regina. A transformação da paisagem: Planos diretores em onze municípios do Espírito Santo, um estudo de caso. **Paisagem Ambiente: ensaios,** São Paulo, n. 24, p.345-354, 2007.