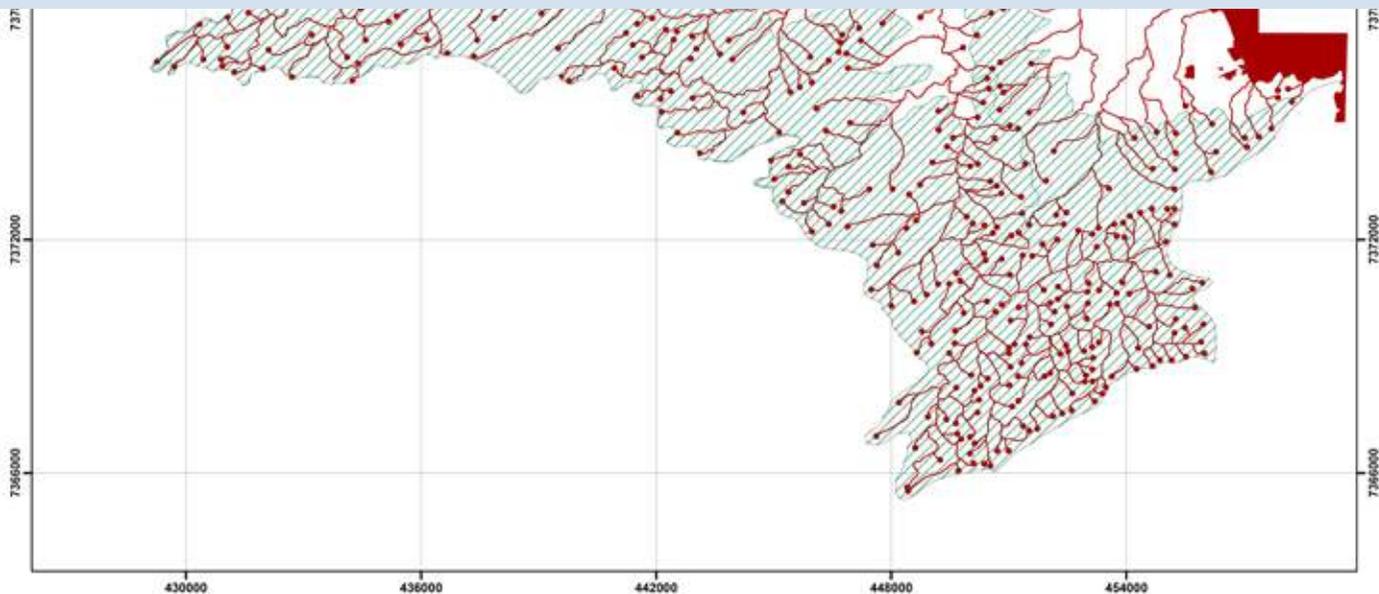


# Mapeamento das zonas úmidas

(segundo Convenção de Ramsar)

da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê,  
município de Caraguatatuba, SP.



**Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental**  
**instituto@costaBrasilis.org.br**

**Geoprocessamento e Cartografia:**

Instituto Costa Brasilis -  
Desenvolvimento Socioambiental  
Allan Yu Iwama  
Fábio Bueno de Lima

**Figuras e tabelas:**

Instituto Costa Brasilis  
Desenvolvimento Socioambiental e  
MapAir

**Revisão de Texto:**

Allan Yu Iwama  
Fábio Luciano Pincinato  
Fábio Bueno de Lima  
Márcia Regina Denadai  
Marcio José dos Santos

**Editoração gráfica:**

Marcio José dos Santos  
Márcia Regina Denadai

**Fotos: Capa e Contracapa:**

Allan Yu Iwama, Fábio Luciano Pincinato  
e Marcio José dos Santos

**Design Gráfico:**

Antonio Gonçalves de Oliveira Filho

**Tiragem**

1000 exemplares

**Gráfica:**

JP Gráfica Editora LTDA – ME  
Tels. (12) 3921-6648  
E-mail: [jpeditora@hotmail.com](mailto:jpeditora@hotmail.com)

**DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)**  
**(CÂMARA BRASILEIRA DO LIVRO, SP, BRASIL)**

Mapeamento das zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da  
Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP /  
Márcia Regina Denadai, coordenação; Alexander Turra, responsável técnico.  
-- São José dos Campos, SP : JP Editora, 2016.

“Projeto: Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental”.

Bibliografia

ISBN 978 -85-68852-01-9

1. Atlas geográfico - Mapas 2. Bacias hidrográficas - Administração  
- Planejamento 3. Bacias hidrográficas - Recursos de informação 4.  
Juqueriquerê, Rios - Caraguatatuba (SP) - Bacia hidrográfica - Aspectos  
ambientais 5. Juqueriquerê, Rios - Caraguatatuba (SP) - Bacia hidrográfica -  
Aspectos sociais I. Regina Denadai, Márcia. II. Turra, Alexandre.

16-08213

CDD-333.910061

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê : Recursos hídricos :  
Gerenciamento : Economia 333.910061
2. Recursos Hidrográfica do Rio Juqueriquerê : Economia 333.910061

## **Ficha Técnica do Projeto**

Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental  
Márcia Regina Denadai – Responsável Legal  
Alexander Turra – Responsável Técnico

### **Coordenação Geral**

Márcia Regina Denadai

### **Coordenação Executiva**

Marcio José dos Santos

### **Supervisão Técnica**

Alexander Turra  
Tânia Ferreira de Matos

### **Equipe Técnica**

Allan Yu Iwama  
Alexander Turra  
Adriana Lippi  
Elisa Van Sluys Menck  
Fábio Bueno de Lima  
Marcio José dos Santos  
Márcia Regina Denadai  
Tiago Egger Moellwald Duque Estrada

### **Parceiros**

Prefeitura Municipal de Caraguatatuba  
Prefeitura Municipal de São Sebastião  
Instituto Oceanográfico – IO/USP

### **Agradecimentos**

Carlos Zacchi Neto  
Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Norte – CBH-LN  
Miguel Nema Neto  
Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Caraguatatuba  
Alvimar de Melo Amorim

### **Tiragem**

1000 exemplares

Realização

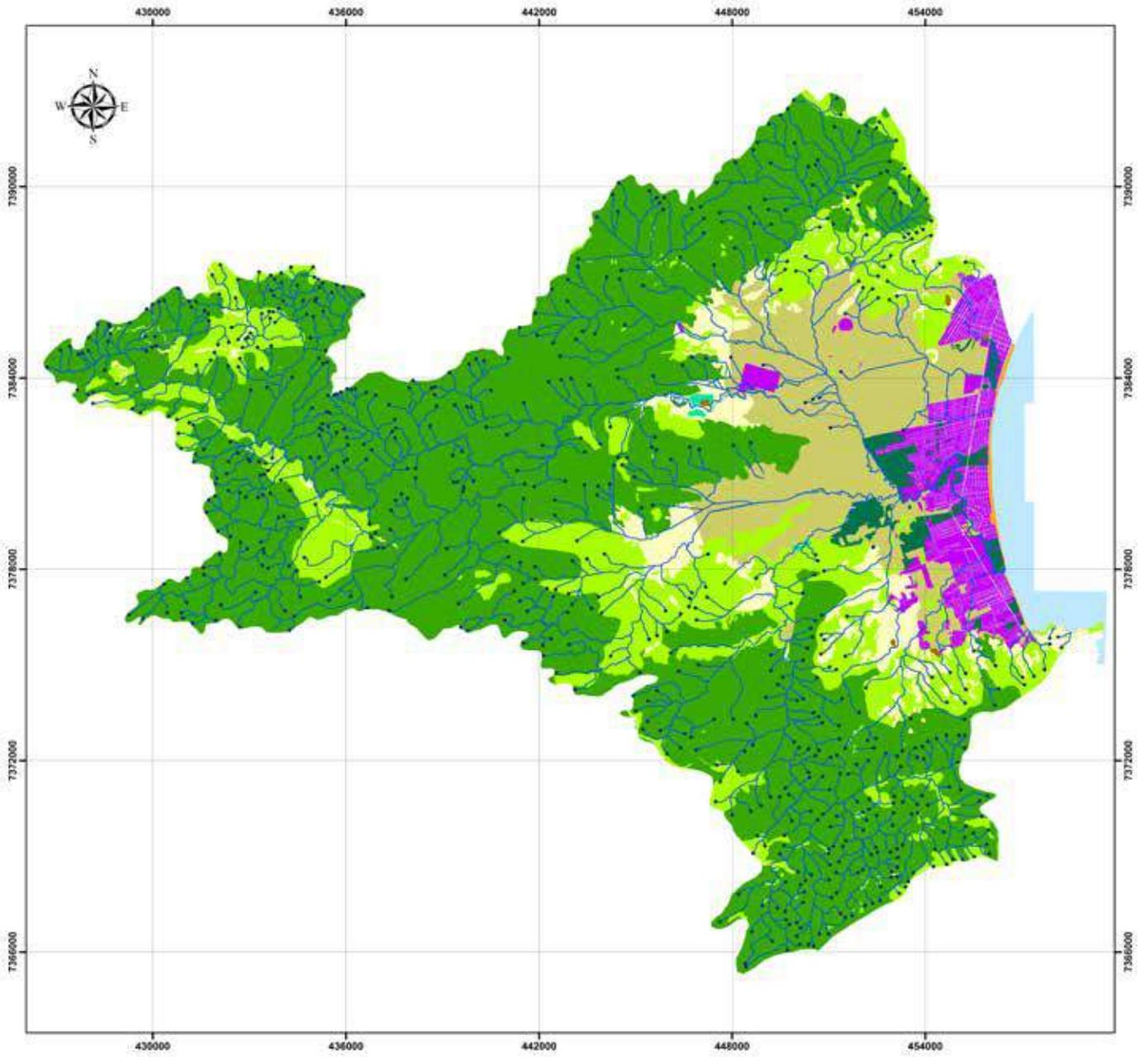


Financiadores



Apoio técnico





# *Sumário*

---

Apresentação	07
1 - Introdução	09
1.1. - Zonas Úmidas	11
1.2. - Mapeamento das zonas úmidas da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê	15
2 - Classificação digital de imagens de sensoriamento remoto IKONOS	19
2.1 Avaliação dos resultados das classificações	28
2.2. Considerações sobre a classificação de imagens de alta resolução espacial para o mapeamento de zonas úmidas	30
3 - Conservação das Zonas Úmidas da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê	33
Referências	47





# Apresentação

O presente Atlas apresenta os resultados do projeto “*Mapeamento das zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP*”, uma iniciativa do Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental, em conjunto com o Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Norte (CBH-LN), que contou com financiamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (FEHIDRO).

O projeto buscou o estabelecimento de um protocolo para a classificação digital de imagens de alta resolução IKONOS, para mapear as zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê com intuito de subsidiar a gestão de recursos hídricos e do uso e ocupação do território em nível local. Para alcançar este objetivo, foram testados diversos métodos de classificação e determinado qual deles apresentou melhor resultado de acordo com o esforço despendido na escolha de classes adequadas e de amostras de treinamento, segundo o algoritmo de classificação, bem como o conhecimento prévio do intérprete sobre a área de interesse. Uma vez eleito o método, a bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê foi classificada, gerando um mapa temático das zonas úmidas em nível de detalhe compatível com a escala 1:10.000, adequada para ser utilizada por gestores que atuam no nível das sub-bacias. A identificação das zonas úmidas contou ainda com levantamento de dados em campo e análise de dados secundários, que se mostraram essenciais para a complementação dos resultados obtidos com a classificação da imagem.

Apropriar-se desse tipo de informação permitirá um melhor conhecimento para promover a proteção dos ecossistemas o aumento da eficiência na proteção dos ecossistemas regionais vin-

culados aos recursos hídricos e produzirá um modelo de levantamento de dados que poderá ser expandido para toda região e para outras bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, dadas as especificidades de cada local.



# Introdução

O Litoral Norte do Estado de São Paulo apresentou desenvolvimento consideravelmente acelerado a partir dos anos 1970, quando a Rodovia Rio-Santos foi construída, facilitando o acesso e deslocamento pela região. O desenvolvimento do Porto de São Sebastião e a implantação do Terminal Almirante Barroso da Petrobras, junto com o desenvolvimento do turismo, fizeram com que a região tivesse um crescimento rápido e uma significativa mudança no uso e ocupação do solo. Na década de 1960, a população do Litoral Norte não passava de 25 mil habitantes e alcançou, em 2014, 292.609 habitantes (CBH-LN, 2015).

Graças a uma topografia peculiar, o Município de Caraguatatuba apresenta a maior área de planície litorânea da região, o que lhe confere uma área de grande potencial para a expansão urbana. Isso faz com que o município tenha a maior população entre os demais do Litoral Norte (Tabela 1).



**Tabela 1 – Dados geográficos dos municípios do Litoral Norte em 2014.**

Município	População (habitantes)	Densidade (habitantes/km <sup>2</sup> )	Área Total (km <sup>2</sup> )
Caraguatatuba	107.271	221,1	484
Ilhabela	30.431	87,6	348
São Sebastião	79.395	198,7	403
Ubatuba	82.823	114,4	712

Fontes: IBGE, SEADE e Relatório de Situação dos Recursos hídricos do Litoral Norte 2015.

A Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê é a maior bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Litoral Norte (UGRHI-03), com uma área de 419,8 km<sup>2</sup> (**Figura 1**). Ela concentra grande parte da planície litorânea de Caraguatatuba, sendo adequada geograficamente para a moradia humana e, portanto, enfrenta os problemas impostos por séculos de ocupação sem planejamento adequado. Esse fato resultou na degradação de muitas zonas úmidas, ecossistemas importantes para a conservação dos recursos hídricos e manutenção da disponibilidade hídrica para a população, tanto em quantidade como em qualidade.

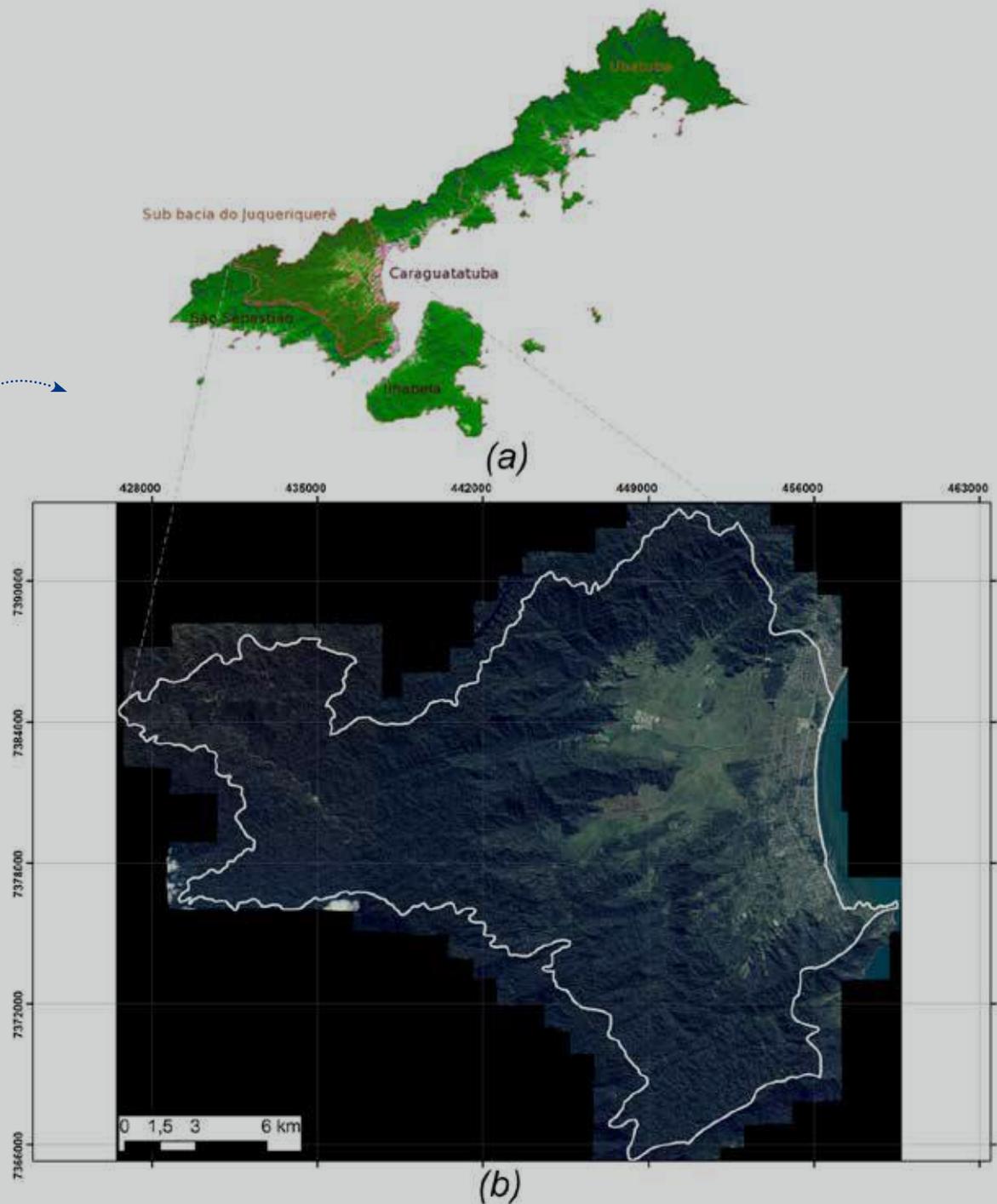
Essas características tornam a Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê vulnerável a diversos impactos, o que exige a adoção de instrumentos que subsidiem a gestão territorial no sentido de conservar e recuperar os ambientes relacionados à proteção e produção dos recursos hídricos.

## Zonas Úmidas

O conceito de zonas úmidas considera as superfícies cobertas por água, permanentes ou temporárias, tanto de regime natural como artificial. Podem ser constituídas de águas correntes ou paradas, sendo doces, salobras ou salgadas. As zonas úmidas desempenham serviços ecológicos fundamentais, contribuindo não só para a manutenção da biodiversidade, servindo como abrigo, área de alimentação, reprodução e berçário de espécies da fauna. Também promove para o equilíbrio hídrico e sedimentar das bacias hidrográficas, mantendo a oferta de água para as populações humanas e diminuindo a ocorrência e magnitude de desastres naturais.

Reconhecendo a importância das zonas úmidas para a manutenção do equilíbrio ecossistêmico e seu valor social, em 02 de fevereiro de 1971, na cidade de Ramsar, Irã, foi aprovado o texto da Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, que viria a ser conhecida como Convenção de Ramsar. Esse tratado intergovernamental tem como objetivo promover a

**Figura**  
**1.** Litoral  
Norte de  
São Paulo  
(UGRHI-03)  
(a) deta-  
lhando a  
localização  
da bacia  
hidrográfica  
do Rio Ju-  
queriquerê  
(b)





*Bosque de restinga inundado*

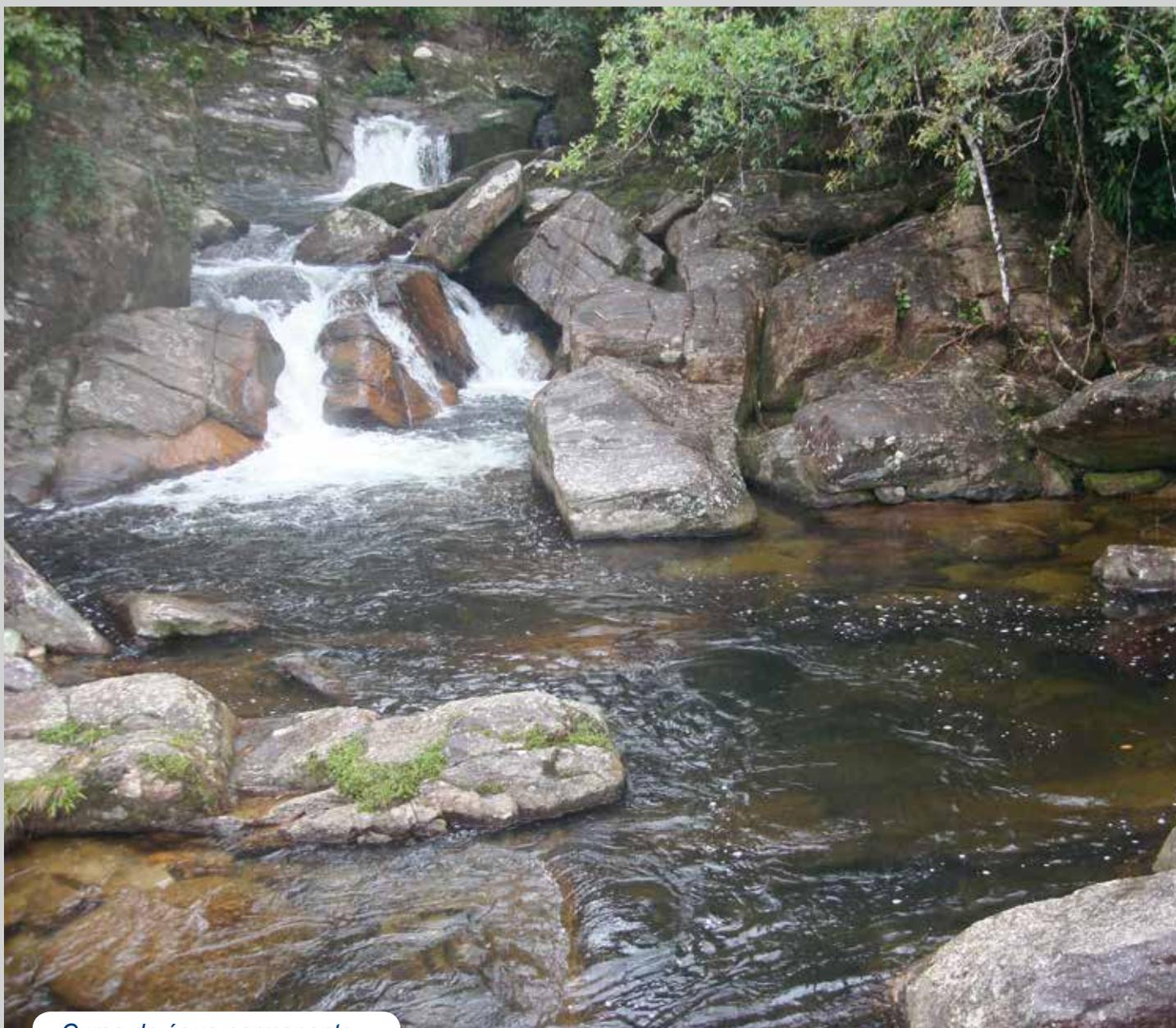
cooperação entre países na conservação e no uso racional das zonas úmidas no mundo. Ratificado pelas dezoito nações participantes do evento de 1971, em 2016 conta com 168 nações signatárias, inclusive o Brasil, que aderiu ao tratado em setembro de 1993.

A proteção das zonas úmidas é uma medida preventiva extremamente necessária para a minimi-



*Tanque artificial – pesqueiro*

zação dos impactos negativos do desenvolvimento que a bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê vem enfrentando. Nesse contexto, o mapeamento das zonas úmidas dessa bacia hidrográfica é imprescindível para a divulgação de sua importância e embasar as decisões e planejamento do uso e ocupação sustentável do território.



*Curso de água permanente*

Mapeamento das zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP.

## Mapeamento das zonas úmidas da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê.

É bastante difundida a importância das zonas úmidas no ciclo biogeoquímico da água e na provisão de água para as populações humanas. Especial destaque se dá às zonas úmidas naturais (os diversos ecossistemas ripários como as matas que envolvem corpos d'água, brejos, estuários e manguezais,



*Armazenamento de água da Estação de Tratamento de Água (ETA) Porto Novo da SABESP*

por exemplo). Nesse contexto, mapas que destaquem as zonas úmidas de uma região compõem um instrumento de fundamental importância para subsidiar a na gestão dos recursos naturais.

Janssen e co-autores (2005) apresentaram um estudo sobre estratégias para a gestão de recursos hídricos e quais são as demandas na construção de um sistema para o suporte às decisões na gestão integrada de zonas úmidas. Sua principal conclusão é a de que o mapeamento da região a ser gerida é condição indispensável. Esse mapeamento deve possuir detalhamento suficiente para o gerenciamento local dos conflitos, apontando as unidades da paisagem responsáveis pela provisão dos recursos necessários às demandas da sociedade e à manutenção da biodiversidade.

Considerando o exposto e a importância em subsidiar o planejamento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê, realizou-se o mapeamento das zonas úmidas da bacia, utilizando técnicas de classificação digital de imagem orbital de alta resolução espacial. O mapeamento também contou com o subsídio de levantamentos de campo e de dados secundários.







*IKONOS o  
primeiro satélite  
de alta resolução,  
lançado em 1999.*



## Classificação digital de imagens de sensoriamento remoto IKONOS

As imagens utilizadas na classificação digital foram levantadas em 2011 pelo satélite do programa IKONOS, que foi o primeiro a gerar imagens comerciais de alta resolução espacial (1 metro por pixel). Lançado em setembro de 1999, o satélite se mantém ativo até os dias de hoje, coletando imagens de todo o globo. As especificações técnicas do IKONOS são apresentadas no **Quadro 1**.



### Quadro 1 – Especificações técnicas do IKONOS.

<b>Informações de lançamento</b>	Data: 24/09/1999
<b>Local de lançamento</b>	Base aérea de Vandenberg, Califórnia, EUA
<b>Órbita</b>	Altitude: 681 km
<b>Tipo</b>	Heliossíncrona, 10:30 am
<b>Período</b>	98 minutos
<b>Bandas do sensor</b>	Pancromática, Vermelha, Azul, Verde e Infravermelho
<b>Resolução espacial</b>	1 m (pancromático) 4 metros (multiespectral)
<b>Resolução Radiométrica</b>	11 bits por pixels
<b>Comprimento da faixa</b>	11,3 km no nadir
<b>Angulo máximo de visada</b>	+/- 60° off-nadir
<b>Capacidade de coleta</b>	700 mil km <sup>2</sup> por dia
<b>Resolução temporal</b>	Aproximadamente 3 dias - 30° off nadir
<b>Acurácia posicional</b>	Acurácia especificada de 15 m CE90% no nadir excluindo efeitos de terreno

Os trabalhos de classificação da imagem de sensoriamento remoto iniciaram com uma extensa revisão bibliográfica das publicações que utilizaram imagens IKONOS, com a finalidade de elencar os métodos com melhores resultados a serem testados na região da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê. A segunda etapa foi a realização de campanhas de campo para gerar referências testemunhais da ocorrência espacial das zonas úmidas da região, utilizadas para treinar o software classificador de imagens. Após a fase de testes dos métodos de classificação, ocorreram novas idas a campo para verificação do grau de acurácia e precisão espacial das classificações.

Para a classificação de zonas úmidas foi utilizado como referência o conceito de zonas úmidas, definido pela Convenção de Ramsar: “...zonas úmidas são áreas no espaço geográfico por onde a água realiza seu ciclo e que podem ser de origem natural ou artificial”. São divididas em marinhas ou costeiras, continentais ou antropogênicas. Para a classificação das outras classes de cobertura da terra não condizentes com zonas úmidas, a legenda foi complementada com as classes propostas no manual técnico da vegetação brasileira (IBGE, 1991) e no manual técnico de uso da terra (IBGE, 2006).

Após uma análise exploratória, baseada em classificações não supervisionadas e na experiência dos analistas, foram selecionadas as seguintes classes Ramsar a serem mapeadas (**Tabela 2**).

 **Tabela 2- Classes (legenda) de mapeamento das zonas úmidas de Ramsar.**

Zonas	Classes	Descrição das classes
Zonas úmidas marinhas e costeiras	I	Manguezais e florestas de intermareais; inclui bosques inundados ou inundados por marés de água doce
	J	Lagoas costeiras de água salobra ou salgada
	K	Lagoas costeiras de água doce; inclui lagoas de água doce de sistemas deltaicos
	D	Zonas costeiras rochosas; inclui ilhas rochosas e falésias
	A	Águas marinhas pouco profundas permanentes, com menos de 6 m de profundidade em maré baixa; inclui baías e estreitos
	E	Zonas costeiras cobertas de areia ou seixos; inclui cordões de dunas, restingas, ilhotas arenosas e sistemas de dunas
	F	Águas estuarinas; água permanente de estuários e sistemas estuarinos de deltas
	G	Bancos de várzea, areia ou com solos salgados

Zonas úmidas continentais	M	Cursos de água permanentes; inclui quedas de água
	N	Cursos de água sazonais/intermitentes/irregulares
	O	Lagos de água doce permanentes (com mais de 8 ha); inclui meandros ou braços mortos de um rio)
	P	Lagos de água doce sazonais/intermitentes (com mais de 8 ha); inclui lagos em vales de cheia
	Q	Lagos salgados/salobros/alcalinos permanentes
	R	Lagos e zonas inundadas salgados/salobros/alcalinos sazonais/intermitentes
	Sp	Marismas /salobros/alcalinos permanentes
	Ss	Marismas salgados/salobros/alcalinos sazonais/intermitentes
	Y	Nascentes de água doce, oásis
	L	Deltas interiores (permanentes)
Zonas úmidas artificiais	4	Terrenos agrícolas inundados sazonalmente; inclui pradarias e pastagens inundadas, utilizadas de forma intensiva
	7	Escavações; pedreiras, saibreiras, areiros, lagos de minas
	9	Canais; canais de drenagem, regos
	1	Tanques de aquacultura; inclui tanques de peixes, crustáceos ou moluscos
	2	Tanques artificiais; inclui tanques de irrigação, tanques para gado, açudes (geralmente com menos de 8 ha)
	6	Áreas de armazenamento de água; reservatórios, barragens, albufeiras (geralmente com mais de 8 ha)
	8	Estações de tratamento de águas residuais

Os classificadores podem ser divididos em “**pixel a pixel**” e “**por regiões**”. O classificador “**pixel a pixel**” utiliza apenas a informação espectral de cada *pixel* para achar regiões homogêneas. O classificador “**por regiões**” utiliza, além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação entre os *pixels* e seus vizinhos, procurando simular o comportamento de um foto-intérprete ao reconhecer áreas homogêneas na imagem através de suas propriedades espectrais e espaciais (INPE, 2002). Na classificação por regiões, a técnica de agrupamento de dados com “tex-

tura” similar, que é realizada antes do processo de classificação, é chamada **segmentação de imagem**.

Os algoritmos de classificação possuem ainda dois métodos de abordagem, o **supervisionado**, no qual são fornecidas amostras com as localizações e a tipologia das classes a serem utilizadas pelo *software*, e o **não supervisionado**, onde é fornecido apenas o número de classes a ser utilizado na classificação automática do *software*.

Os métodos de classificação utilizados no mapeamento da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê foram:

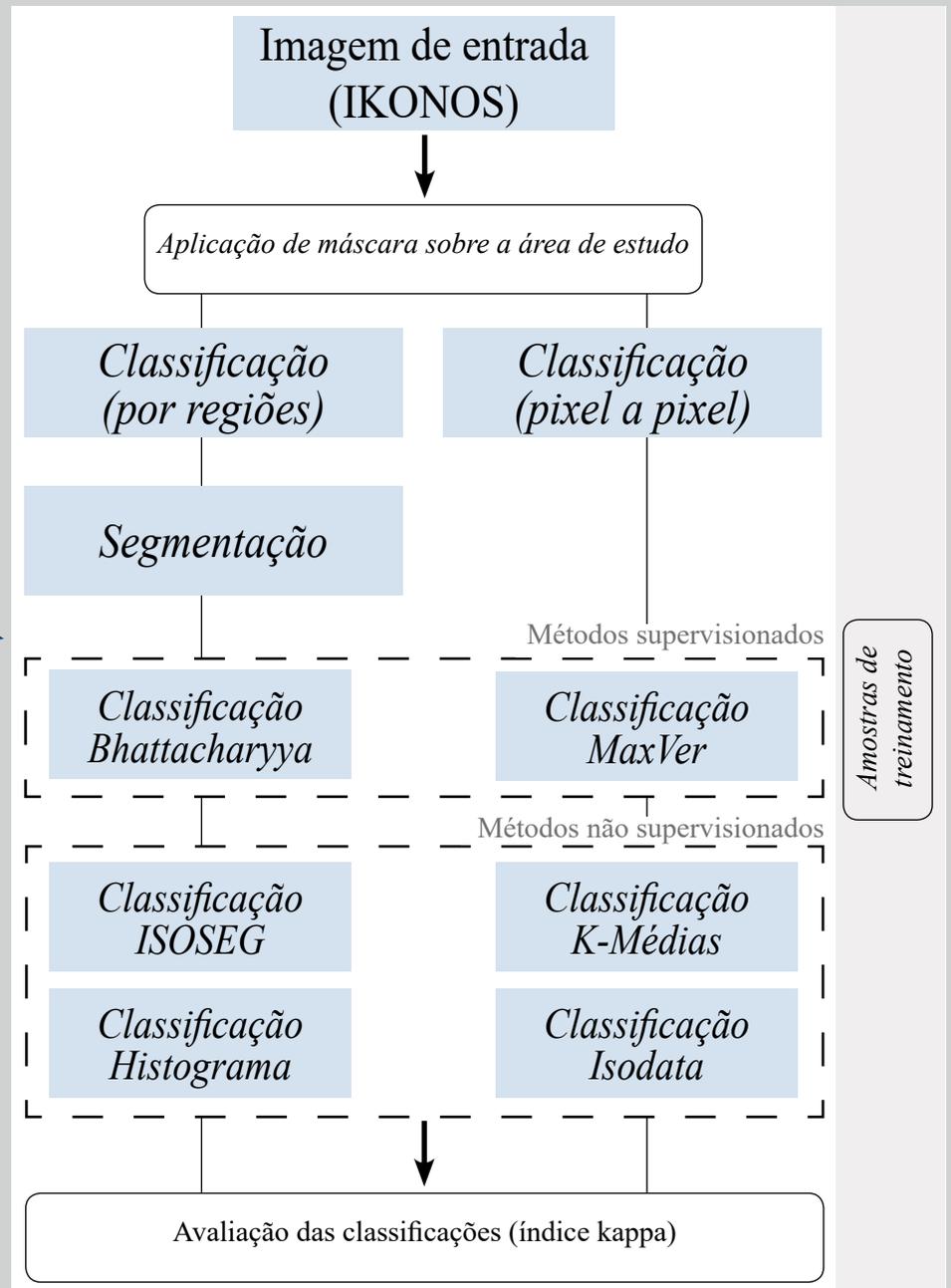
- **Supervisionado** - MaxVer (classificação pixel a pixel) e Bhattacharyya (classificação por regiões);
- **Não supervisionados** - K-médias e Isodata (classificação pixel a pixel), Histograma e ISOSEG (classificação por regiões).

Para os métodos de classificação supervisionados foram selecionadas amostras de treinamento para cada classe da legenda, através de análise visual das feições de cobertura e uso da terra e levantamentos de campo. Para os métodos não-supervisionados, foram realizados testes para definir o número de classes e de interações do algoritmo. Os softwares utilizados foram o SPRING versão 5.2.3, para a segmentação e classificações supervisionadas e não supervisionadas por regiões, e o ENVI versão 4.7, para as classificações não supervisionadas pixel a pixel.

Além dos métodos de classificação digital por algoritmos, foi feita uma classificação baseada na interpretação visual, usando dados topográficos (curvas de nível) e pontos coletados em campo para apoiar a interpretação da imagem. Imagens do *Google Earth* também foram utilizadas como apoio.

A **Figura 2** apresenta um resumo do esquema adotado no trabalho.

**Figura 2.** Esquema de trabalho adotado para classificação das zonas úmidas, segundo a convenção de Ramsar, na bacia do Rio Juqueriquerê.



A **Tabela 3** faz uma síntese das fontes de dados secundárias consultadas e utilizadas como apoio no mapeamento da bacia do Rio Juqueriquerê.

 **Tabela 3 - Fontes de dados consultadas.**

<b>Instituição</b>	<b>Descrição/ resumo</b>	<b>Fonte</b>
IBGE	<i>Malhas digitais</i>	< <a href="http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm">http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm</a> >
SOS Mata Atlântica- INPE	<i>Malhas digitais</i>	< <a href="http://mapas.sosma.org.br/">http://mapas.sosma.org.br/</a> >
Secretaria de Meio Ambiente	<i>Relatórios técnicos e Malhas digitais</i>	< <a href="http://www.ambiente.sp.gov.br">http://www.ambiente.sp.gov.br</a> >
Instituto Florestal	<i>Relatórios técnicos e Malhas digitais</i>	< <a href="http://www.iflorestal.sp.gov.br/">http://www.iflorestal.sp.gov.br/</a> >
Fundação Florestal (FF)	<i>Relatórios técnicos e Malhas digitais</i>	< <a href="http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/">http://www.ambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/</a> >

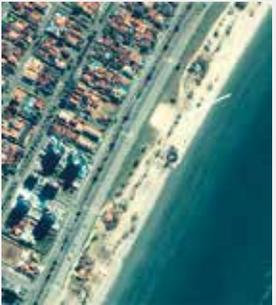
Os dados foram organizados em um Banco de Dados Geográfico, utilizando o sistema de coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator) e *Datum* SIRGAS2000 – sistema geodésico brasileiro.

As classes mapeadas foram organizadas em dois níveis de detalhamento (**Tabela 4 e Tabela 5**).



**Tabela 4 - Legenda de classes Ramsar (classificação de referência).**

Nível I	Nível II	Classe	Descrição	Legenda mapeada
Zonas Úmidas Artificiais	Tanques artificiais	2	Tanques artificiais; inclui tanques de irrigação, tanques para gado, açudes (geralmente com menos de 8 ha)	
	Terrenos agrícolas inundados sazonalmente	4	Terrenos agrícolas inundados sazonalmente; inclui pradarias e pastagens inundadas, utilizadas de forma intensiva	
	Áreas de armazenamento de água	6	Áreas de armazenamento de água; reservatórios, barragens, albufeiras (geralmente com mais de 8 ha)	
	Escavações	7	Escavações; pedreiras, saibreiras, areeiros, lagos de minas	
Zonas Úmidas Naturais	Cursos de água permanentes	M	Cursos de água permanentes; inclui quedas de água	
	Lagos de água doce permanentes	O	Lagos de água doce permanentes (com mais de 8 ha); inclui meandros ou braços mortos de um rio	

Zonas Úmidas Marinhas e Costeiras	Águas marinhas pouco profundas permanentes	A	Águas marinhas pouco profundas permanentes, com menos de 6 m de profundidade em maré baixa; inclui baías e estreitos	
	Zonas costeiras rochosas	D	Zonas costeiras rochosas; inclui ilhas rochosas e falésias	
	Zonas costeiras cobertas de areia ou seixos	E	Zonas costeiras cobertas de areia ou seixos; inclui cordões de dunas, restingas, ilhotas arenosas e sistemas de dunas	
	Manguezais e florestas de intermareais	I	Manguezais e florestas de intermareais; inclui bosques inundados ou inundados por marés de água doce	



**Tabela 5 - Legenda de classes de cobertura e uso da terra, exceto classes de zonas úmidas Ramsar (classificação de referência).**

Nível I	Nível II	Legenda	Descrição	Legenda mapeada
Áreas alteradas	Áreas degradadas	AD	Áreas degradadas	
	Áreas urbanizadas	AU	Inclui traçado urbano caracterizado por áreas construídas (perímetro urbano e de expansão urbana)	
	Malha viária	V	Inclui redes - vias	
Cobertura florestal/ Vegetação	Floresta Ombrófila Densa	FOD	Floresta Ombrófila Densa (alto montana, montana, submontana e terras baixas)	
	Vegetação Secundária	VS	Vegetação Secundária (alto montana, montana, submontana e de terras baixas)	

## Avaliação dos resultados das classificações

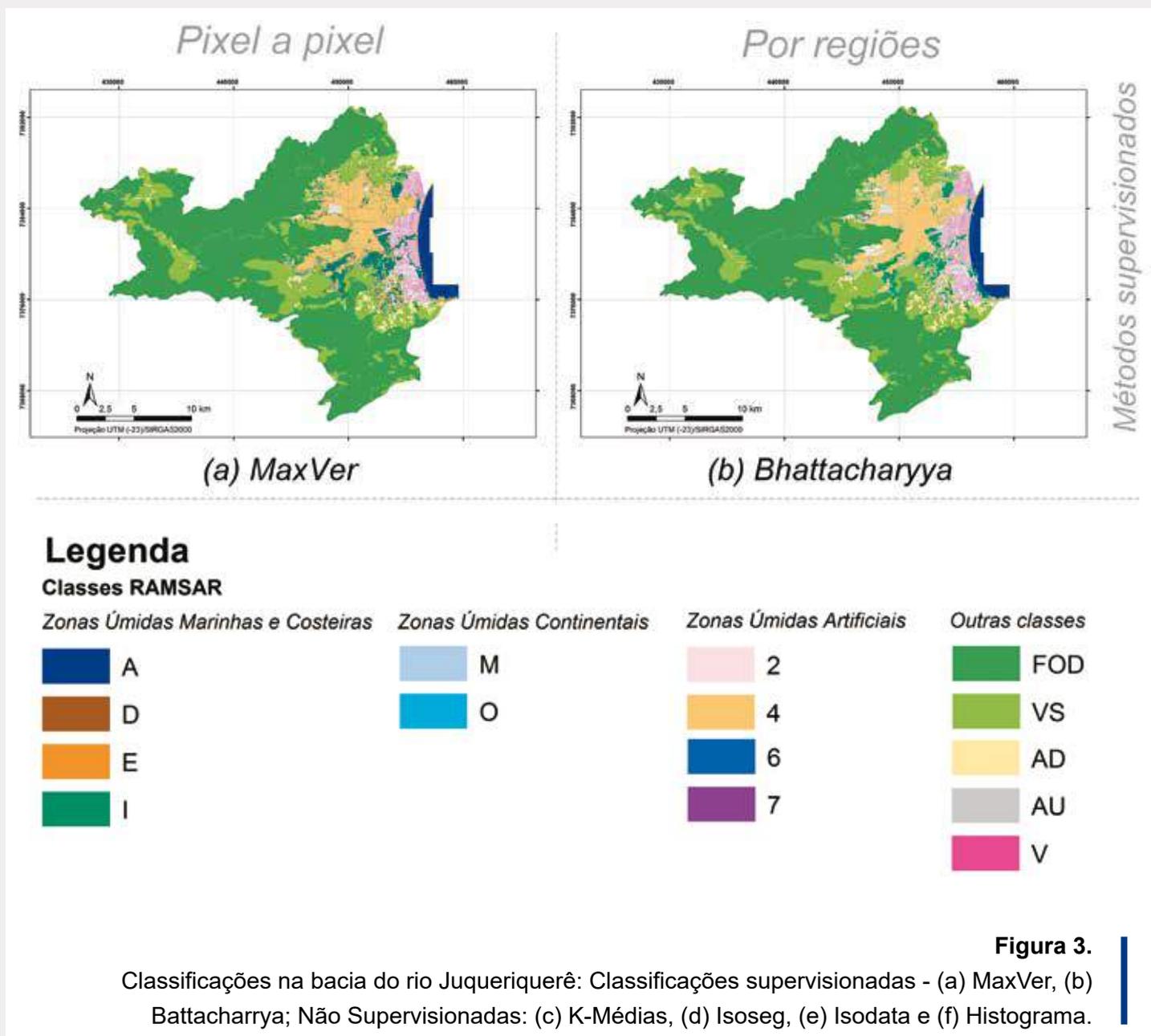
Os resultados das classificações foram avaliados com relação à sua acurácia, utilizando o método de estimativa de desempenho *kappa*, proposto por Hudson e Ramm (1987). Após testes exploratórios de classificações sobre as diferentes segmentações geradas, foram selecionadas as classificações BHATTACHARYYA e ISOSEG, que obtiveram resultados melhores.

Os resultados obtidos para as classificações geradas pelo método pixel a pixel, mostram que os algoritmos MaxVer – (método supervisionado) e K-Médias (método não supervisionado) tiveram desempenhos considerados bons. Pelo método K-Médias observou-se boa separação de classes como escavações (classe Ramsar 7), além da classe de malha viária, que excetua-se das classes Ramsar, apesar do MaxVer apresentar melhor resultado no teste de desempenho (*kappa*). O método não supervisionado Isodata produziu um resultado considerado razoável. De fato, houve muitos erros de confusão da classe Ramsar 7 (escavações, pedreiras, lagos de minas) com a classe Ramsar 4 (terrenos agrícolas inundáveis).

Os resultados obtidos com as classificações geradas pelo método por regiões, mostram que o método Bhattacharyya foi considerado muito bom (método supervisionado) enquanto os métodos não supervisionados foram considerados bons (ISOSEG e Histograma). Importante destacar nos métodos por crescimento de regiões o uso da segmentação como base para essas classificações, contribuindo para o agrupamento de regiões e uma melhor separação das classes. O método ISOSEG, apesar de apresentar um desempenho (*kappa*) superior ao método Histograma, apresentou maior confusão entre as classes Ramsar 7 e 4. Por outro lado, o método Histograma agregou classes Ramsar I no lugar de classes Ramsar 4.

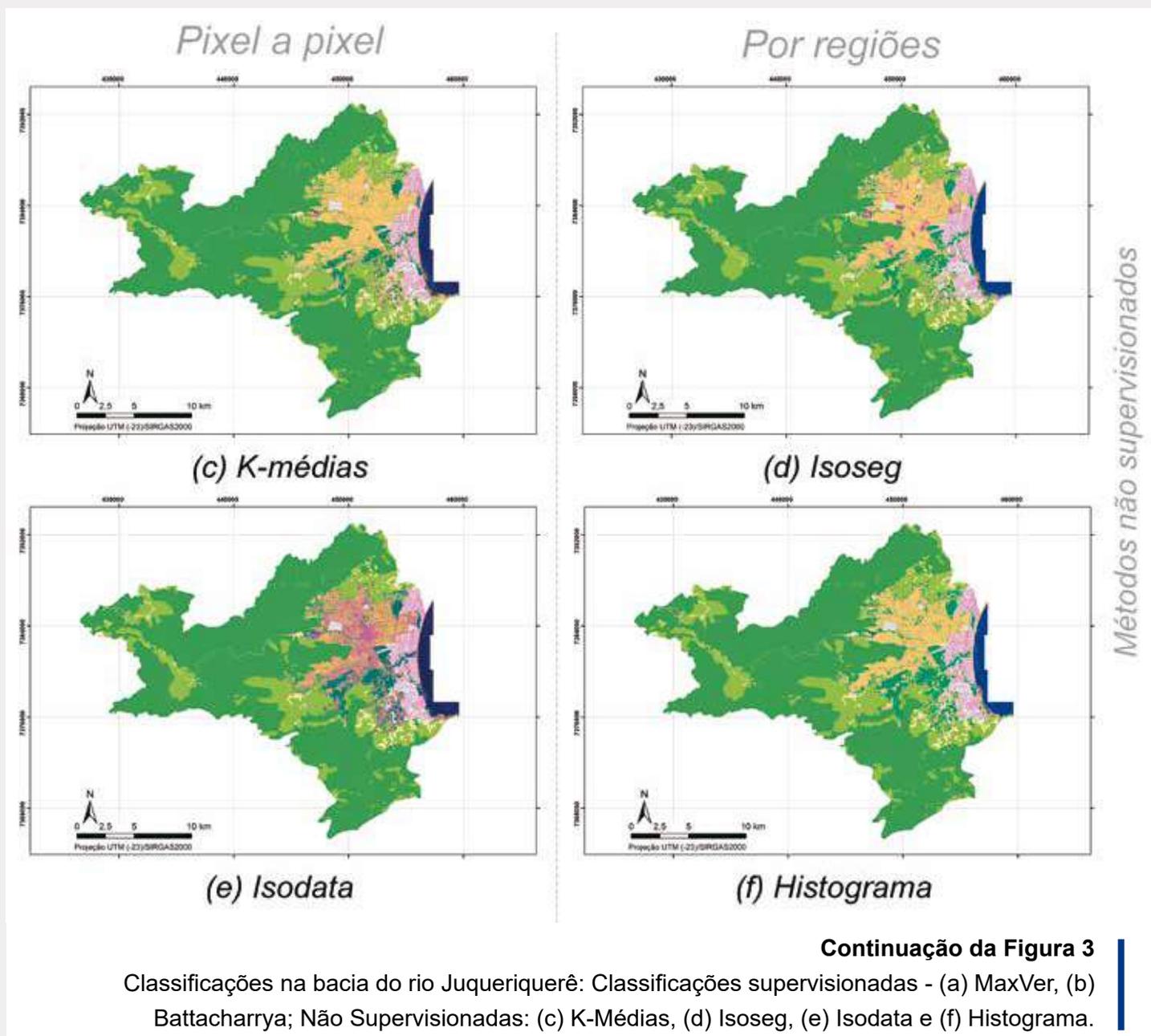
Em todas as classificações (tanto pixel a pixel quanto por regiões) houve confusão entre classes Ramsar I (Manguezais, inclui bosques inundados) com a classe Ramsar 7 (escavações, pedreiras, lagos de minas) e entre as classes Ramsar 4 e I. No geral, os métodos não supervisionados separaram melhor classes “não Ramsar”, como malha viária ou alguns trechos de cursos de água (classe Ramsar M – canais de água).

Os resultados obtidos com os métodos aplicados são apresentados na **Figura 3**.



**Figura 3.**

Classificações na bacia do rio Juqueriquerê: Classificações supervisionadas - (a) MaxVer, (b) Battacharrya; Não Supervisionadas: (c) K-Médias, (d) Iseseg, (e) Isodata e (f) Histograma.



## Considerações sobre a classificação de imagens de alta resolução espacial para o mapeamento de zonas úmidas

Com base no esquema proposto para as classificações, o classificador Bhattacharyya (método supervisionado) foi aquele que obteve o maior índice de desempenho, considerado muito bom, entre os demais classificadores.

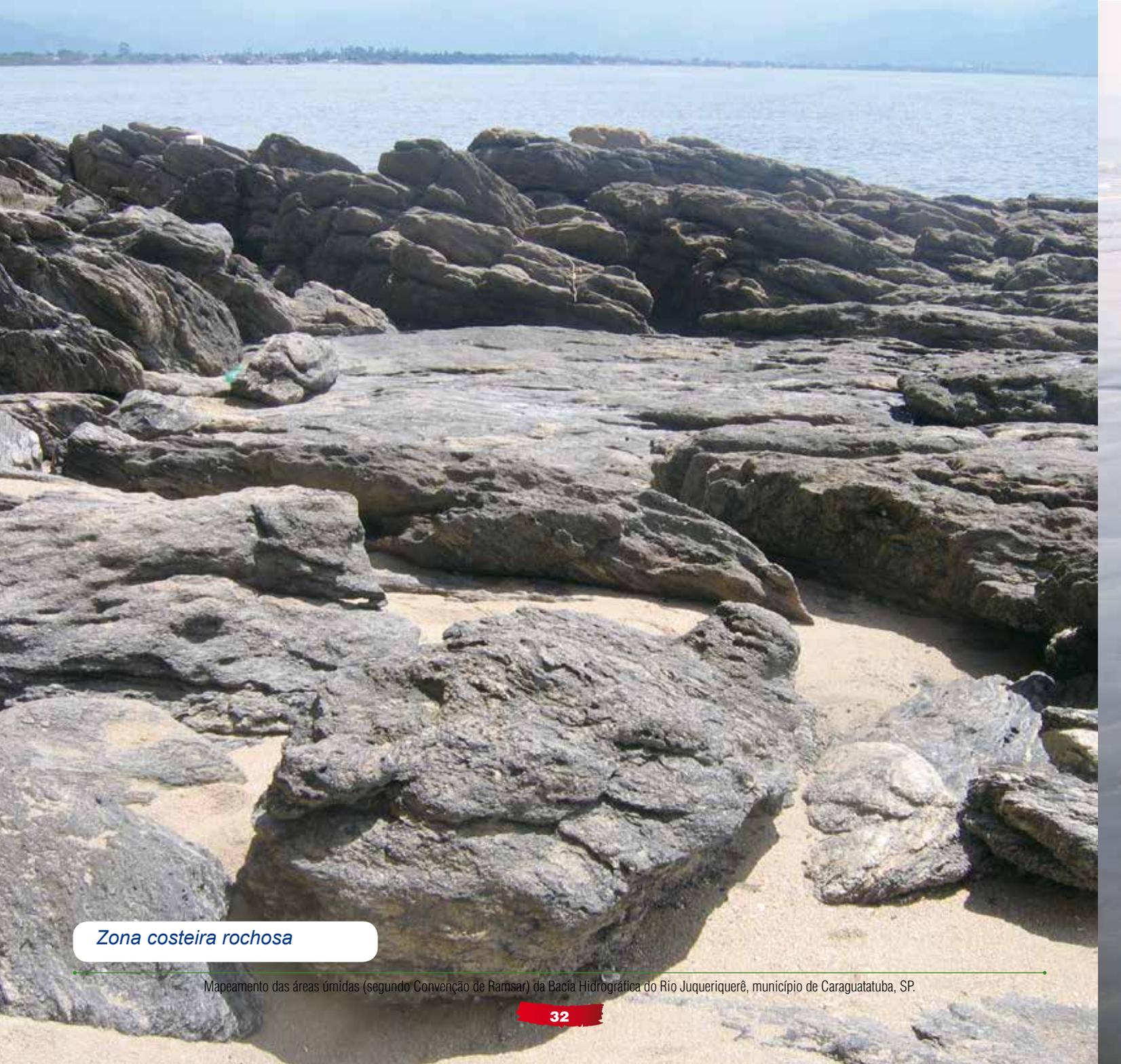
Alguns elementos são destacados para a orientação do processo de classificação de imagens de alta resolução espacial para obtenção do mapeamento das zonas úmidas, segundo a convenção Ramsar:

I - A importância de uma análise exploratória de classes a serem mapeadas (definição da legenda), selecionando-se um número de classes adequado e definindo-se amostras, para minimizar erros de confusão (MELLO et al., 2012);

II - Utilização da segmentação é uma etapa fundamental no processo de classificação (DLUGOSZ et al., 2005; IHP, 2010; TUZINE, 2011). Em particular, essa etapa é indispensável para a classificação de imagens de alta resolução, uma vez que os classificadores pixel a pixel demandam maior tempo de processamento e o produto final (mapeamento final) pode ser considerado igual ou inferior ao método por regiões. Além disso, as classificações supervisionadas orientadas por regiões apresentam um potencial para a extração de elementos urbanos em imagens de alta resolução espacial, como as imagens IKONOS (ROSSINI-PENTEADO et al., 2007);

III - Apesar do método por regiões ter sido o mais adequado para a área de estudo e imagem utilizada nesse trabalho, o método pixel a pixel foi útil para separar classes como vias e cursos de água;

IV - Para um mapeamento satisfatório, além de uma análise prévia das classes de uso quanto à sua natureza e dinâmica é importante que o usuário/interpretador utilize ferramentas de edição oferecidas nos sistemas de processamento de imagens e Sistemas de Informações Geográficas (MELLO et al., 2012). Dessa forma, um método híbrido (classificação não supervisionada + supervisionada) pode auxiliar o mapeamento final.



### *Zona costeira rochosa*

Mapeamento das áreas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP.



## *Conservação das Zonas Úmidas da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê*

A Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê é constituída por um mosaico de zonas úmidas artificiais, continentais, marinhas e costeiras, as quais são entremeadas por zonas urbanas e áreas degradadas e envoltas pela floresta contínua da mata atlântica. Essa diversidade de paisagens pode ser observada no mapa de “Zonas Úmidas da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê” (Figura 5).

*Zona costeira coberta por areia*



*Escavação para extração de saibro e argila*

Mapeamento das zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP.



*Manguezal na foz do Rio Juqueriquerê*

As zonas úmidas naturais oferecem importantes refúgios para a fauna e flora, contribuindo para a manutenção da biodiversidade local e como matrizes para a colonização de espécies e recuperação das áreas degradadas da bacia. A proteção dessas áreas deve ser considerada em planejamentos do uso e ocupação do solo na região, como o Plano Diretor Municipal e o Zoneamento Ecológico e Econômico do Litoral Norte. O mapa de “Zonas Úmidas Prioritárias para a Conservação” (Figura 6) apresenta a distribuição dessas áreas na bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê.



*Pastagem inundada*

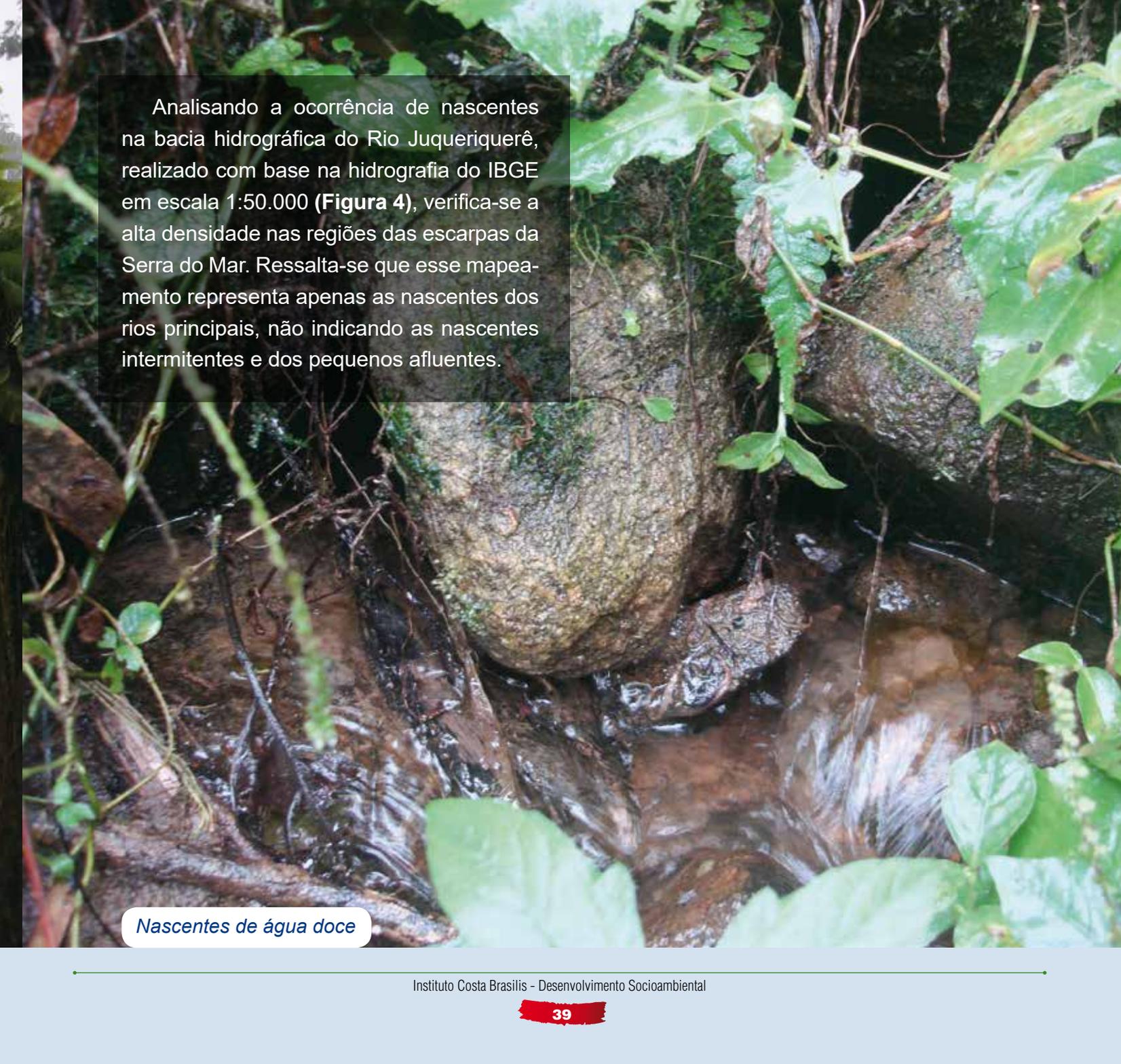
As zonas úmidas artificiais, apesar de possuírem menor diversidade biológica que as zonas úmidas naturais, desempenham importante papel no equilíbrio hídrico da região, podendo inclusive minimizar a frequência e magnitude dos impactos negativos causados por eventos de alagamento das áreas ocupadas pela população. A ocupação e a alteração da cobertura da terra nessas áreas requerem estudos de macrodrenagem e compensações por superfícies com melhor capacidade de regulação do regime hídrico, como por exemplo, a recuperação de áreas degradadas por coberturas florestais nativas ou sistemas agroflorestais.



*Pastagem inundada*

Algumas classes de zonas úmidas não foram passíveis de identificação apenas por imagens de sensores remotos, como as nascentes e corpos de água doce, encobertos pelo dossel da floresta. Nascentes de água doce correspondem a uma das classes de maior importância para a produção de água e equilíbrio dos ecossistemas em uma bacia hidrográfica.

*Tanque artificial de aquicultura*

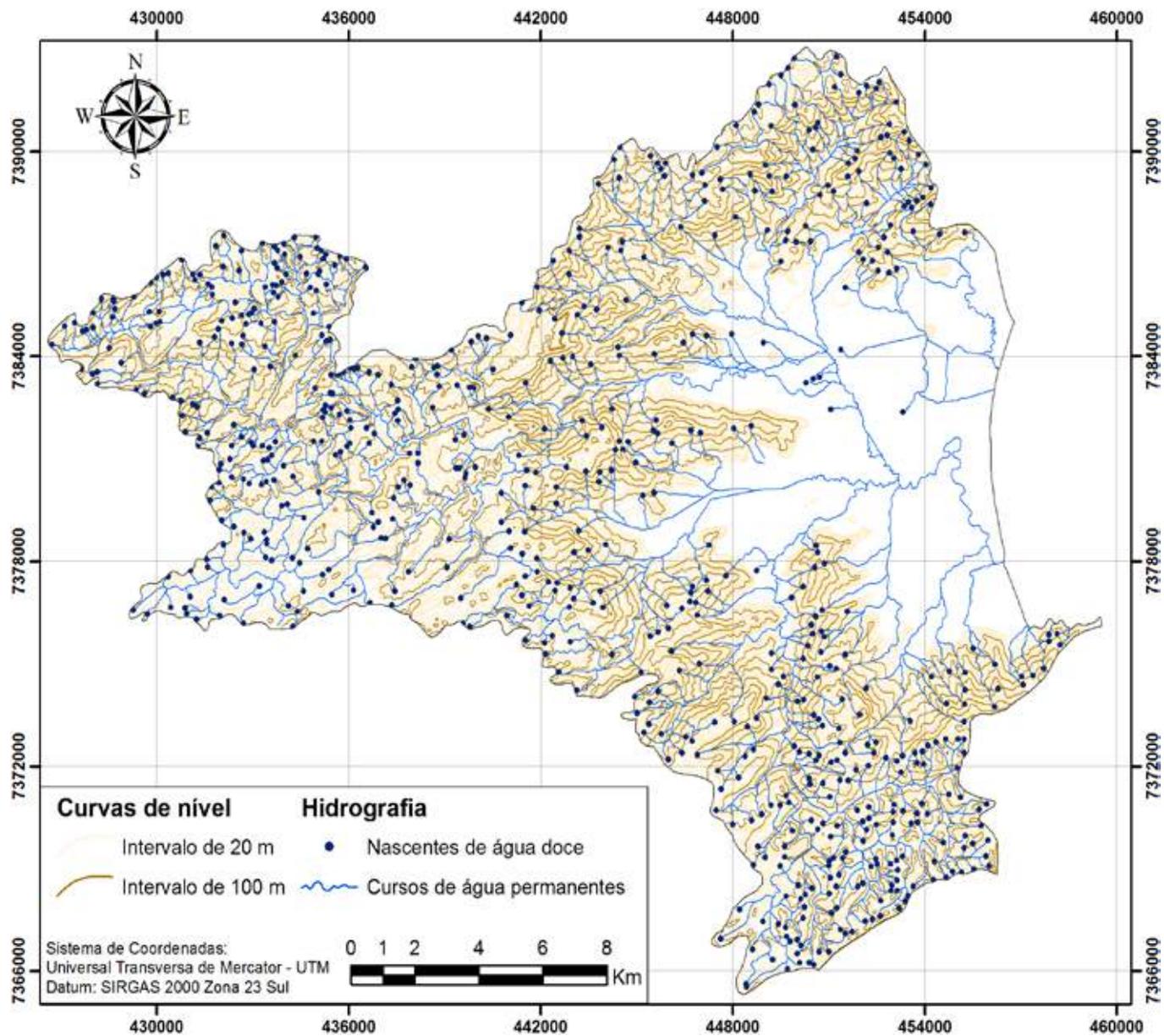


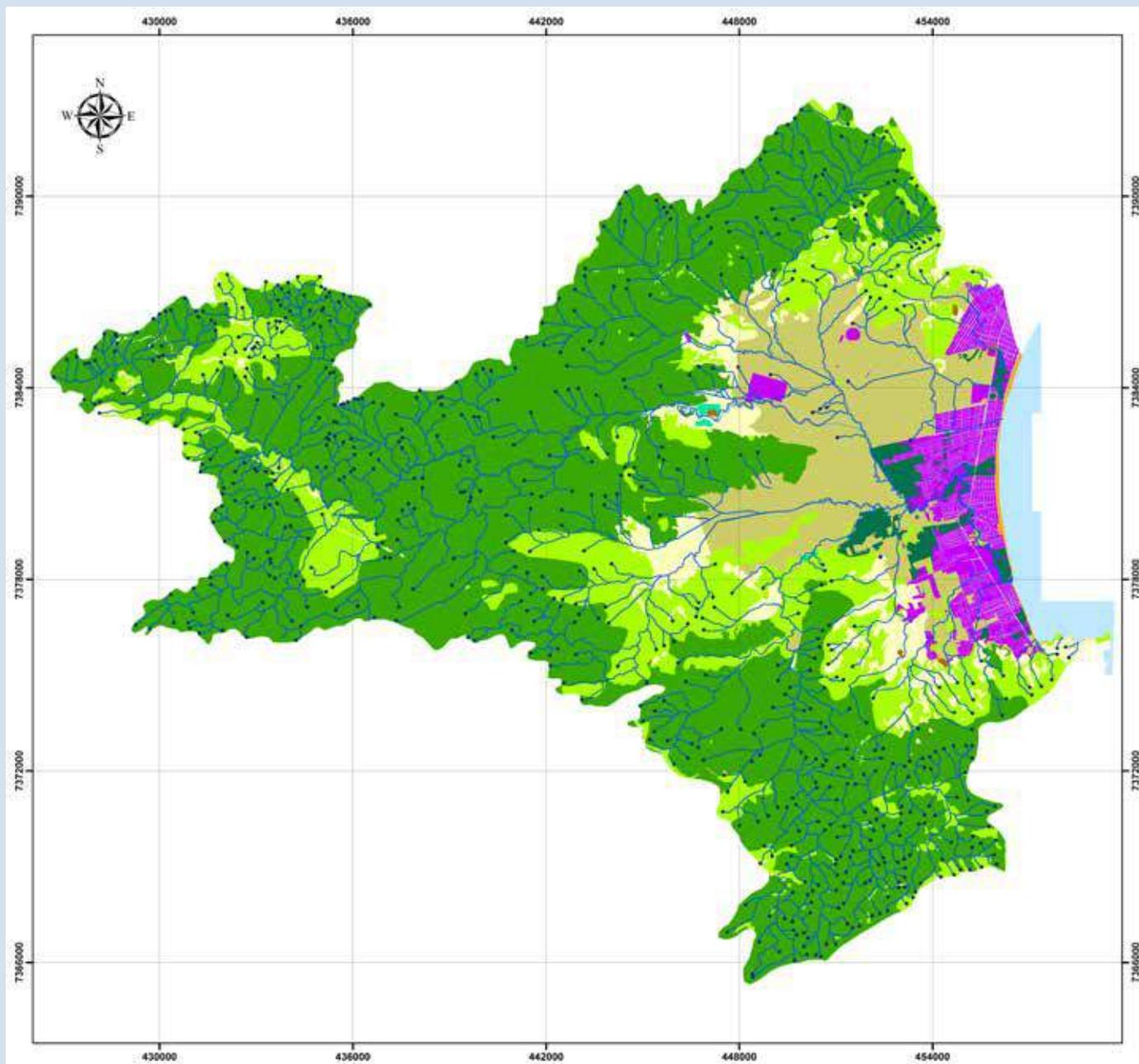
Analisando a ocorrência de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê, realizado com base na hidrografia do IBGE em escala 1:50.000 (**Figura 4**), verifica-se a alta densidade nas regiões das escarpas da Serra do Mar. Ressalta-se que esse mapeamento representa apenas as nascentes dos rios principais, não indicando as nascentes intermitentes e dos pequenos afluentes.

*Nascentes de água doce*



**Figura 4.**  
*Nascentes de  
água doce e  
cursos de água  
permanente  
da bacia  
hidrográfica  
do Rio  
Juqueriquerê.*





Mapeamento das zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP.



## Zonas úmidas Ramsar

### Zonas úmidas artificiais

- Tanques artificiais
- Terrenos agrícolas inundados sazonalmente
- Áreas de armazenamento de água
- Escavações

### Zonas úmidas continentais

- Nascentes de água doce
- Cursos de água permanentes
- Lagos de água doce permanentes

### Zonas úmidas marinhas e costeiras

- Águas marinhas pouco profundas permanentes
- Zonas costeiras rochosas
- Zonas costeiras cobertas de areia ou seixos
- Manguezais e florestas de intermareais

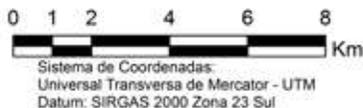
## Classes de cobertura e uso da terra

### Áreas alteradas

- Áreas degradadas
- Áreas urbanizadas
- Malha viária

### Cobertura florestal / Vegetação

- Floresta Ombrófila Densa
- Vegetação secundária



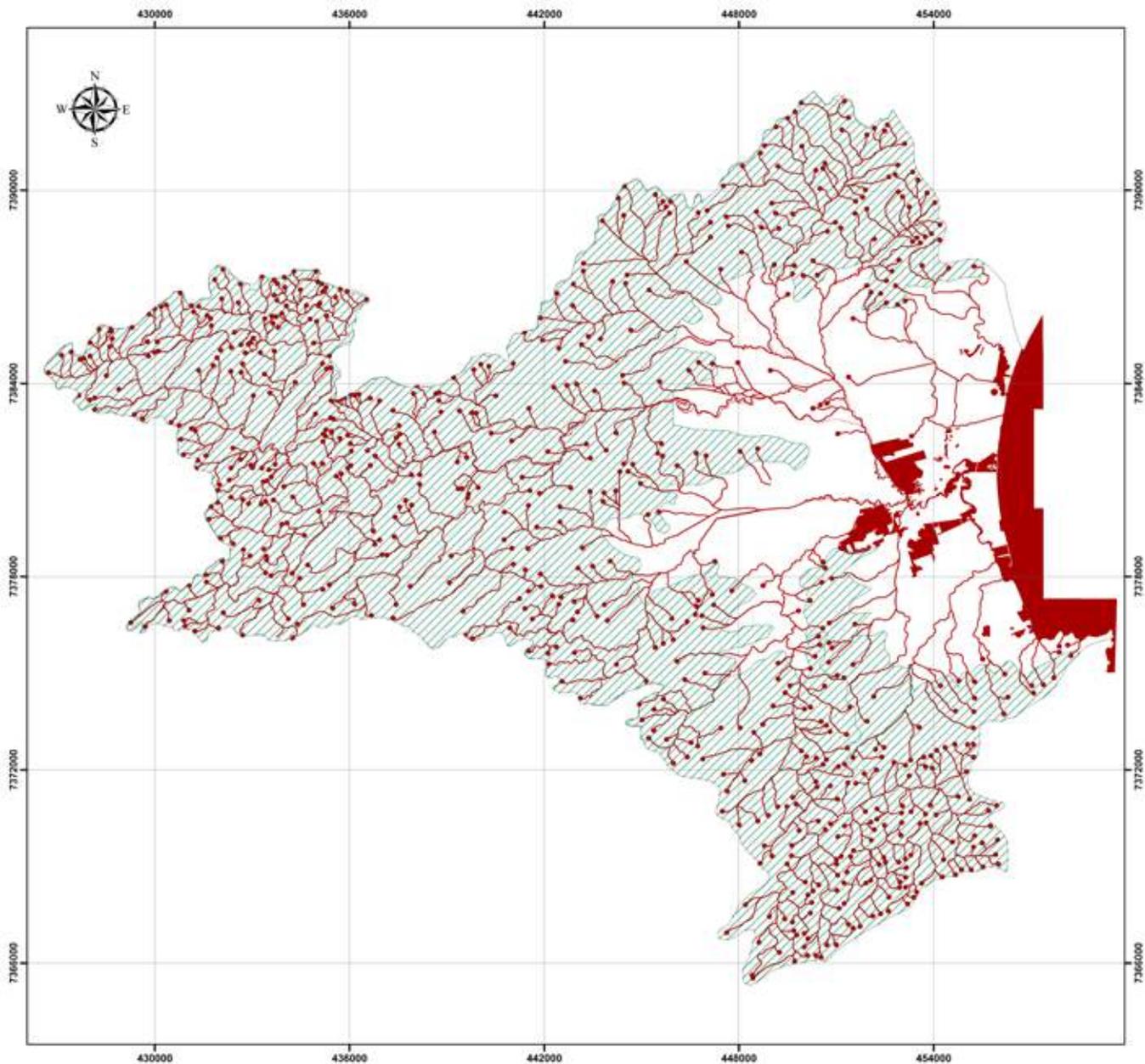
O mapeamento em campo das nascentes se mostrou extremamente trabalhoso por estas ocorrerem em locais de difícil acesso, como nas encostas íngremes e florestadas da Serra do Mar. O local dessas nascentes, além do acesso complicado pelas altas declividades das vertentes e vegetação fechada, pode possuir o ponto de afloramento das águas variável, de acordo com a frequência sazonal e intensidade das chuvas (**Figura 5**).

A presença das nascentes nas escarpas da serra do mar depende não só das chuvas nas cabeceiras e do afloramento de água do aquífero cristalino, mas também da cobertura vegetal desses mananciais, que desempenham papel fundamental no equilíbrio do regime de vazão.

**Figura 5.**  
*Zonas úmidas da bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê*

Portanto, como estratégia de manutenção da oferta de água e equilíbrio biogeoquímico de toda a bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê, faz-se necessária a proteção efetiva de toda a área de mananciais da bacia, que pode ser observada no mapa de “Zonas Úmidas Prioritárias para a Conservação” (**Figura 6**).

A Convenção de Ramsar tem por objetivo a conservação de zonas úmidas de importância internacional. Das zonas úmidas identificadas na



Mapeamento das zonas úmidas (segundo Convenção de Ramsar) da Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, município de Caraguatatuba, SP.



## Zonas úmidas prioritárias para conservação

### Zonas úmidas naturais Ramsar

 Zonas úmidas prioritárias para conservação

#### Zonas úmidas continentais

- Nascentes de água doce
- Cursos de água permanentes
- Lagos de água doce permanentes

#### Zonas úmidas marinhas e costeiras

- Águas marinhas pouco profundas permanentes
- Zonas costeiras rochosas
- Zonas costeiras cobertas de areia ou seixos
- Manguezais e florestas de intermareais

### Área prioritária para proteção dos mananciais e nascentes da bacia

 Parque Estadual da Serra do Mar



Sistema de Coordenadas:  
Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum: SIRGAS 2000 Zona 23 Sul

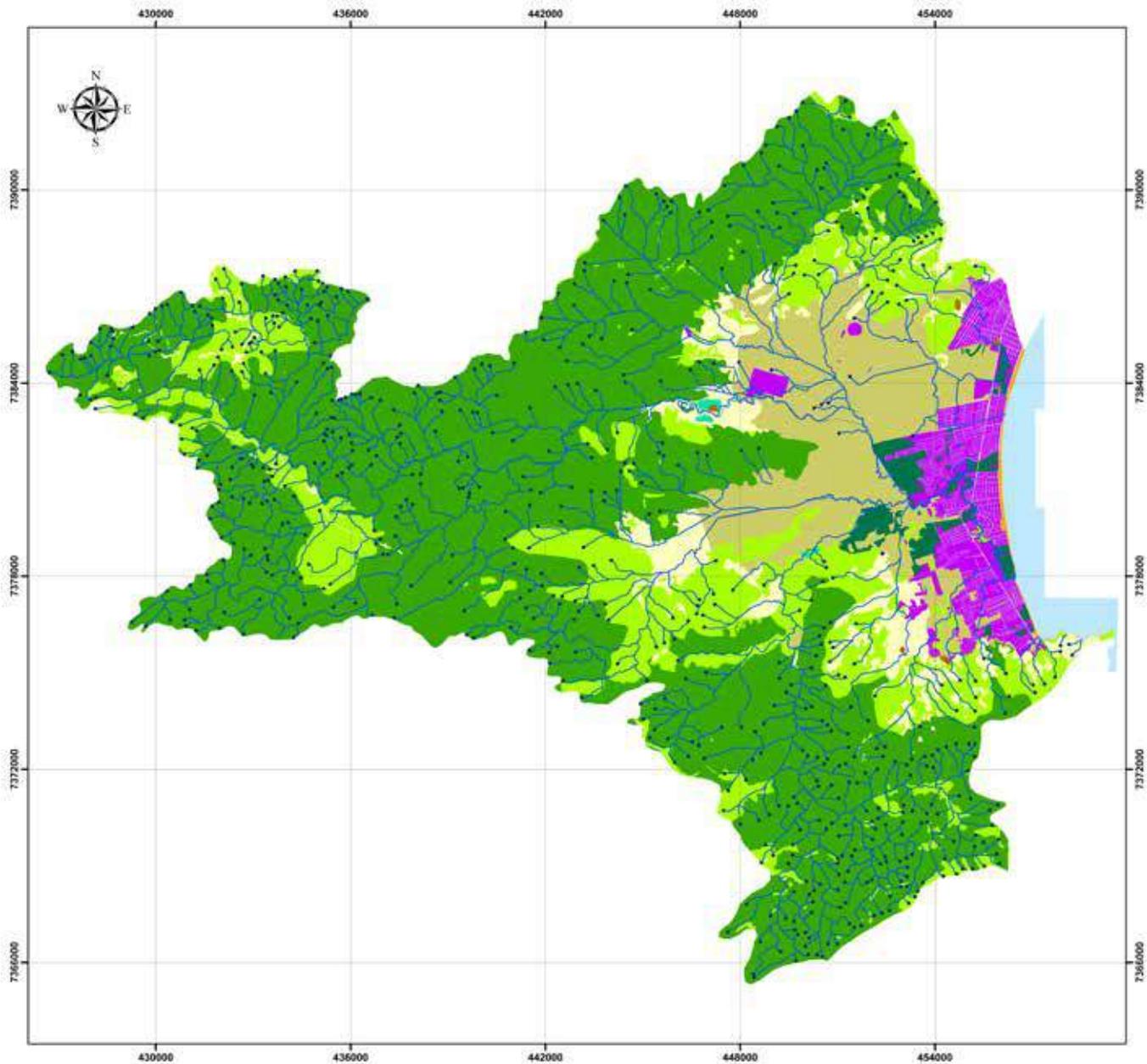
Bacia Hidrográfica do Rio Juqueriquerê, a área referente ao Parque Estadual da Serra do Mar apresenta grande potencial para a indicação como sítio Ramsar, devido a abundância de corpos de água e nascentes e da biodiversidade presente na floresta pluvial da Mata Atlântica, além de sua importância para a garantia da oferta de água para o abastecimento e desenvolvimento das atividades humanas na bacia. A inclusão de uma zona úmida à lista de sítios Ramsar confere benefícios que podem ser não só de natureza

financeira, mas também relacionados à assessoria técnica internacional para o desenho de ações orientadas à sua proteção.

As outras zonas úmidas identificadas, apesar de não possuírem abrangência espacial suficiente para serem consideradas sítios Ramsar de importância inter-

nacional, possuem relevante importância regional, pois contribuem para o equilíbrio dos ecossistemas locais, balanço hídrico e qualidade das águas, devendo ser considerados locais estratégicos a serem protegidos pelas políticas públicas e pelos instrumentos de ordenamento territorial.

**Figura 6.**  
*Zonas úmidas prioritárias para a conservação na bacia hidrográfica do Rio Juqueriquerê*





# Ficha Técnica do Projeto

CBH-LN – Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Norte. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Litoral Norte 2015**. Ubatuba: CBH-LN, 2015, p.154.

DLUGOSZ, F.L.; ROSOT, N.C.; ROSOT, M.A.D.; OLIVEIRA, Y.M.M. Uso da segmentação por crescimento de regiões em imagem Ikonos na discriminação de tipologias da Floresta Ombrófila Mista. *In: XII SBSR. Anais...* Goiânia, p. 1493-1500, 2005.

HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, pp. 421–422, 1987.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª. Edição. Rio de Janeiro, 2006, p. 91.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 92 p.

IHP - International Hydrological Programme. **Application of satellite remote sensing to support water resources management in Africa: Results from the TIGER Initiative**. IHP-VII Technical Documents in Hydrology, n.85, UNESCO. Paris, Working Series SC-2010/WS/15, 2010.

INPE - SPRING, **Manual do usuário**, São José dos Campos, 1996a. Disponível em: <<http://www.inpe.br/spring>>

INPE - SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling” Camara G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p. 395-403, 1996b. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/spring.pdf>>

“INPE - SPRING: Notas Explicativas. São José dos Campos: DPI/INPE, 2002.”

- JANSSEN,R.; GOOSEN, H.; VERHOEVEN, M.L.; VERHOEVEN, J.T.A.; OMTZIGT, A.Q.A.; MALTBY, E. Decision support for integrated wetland management. **Environmental Modelling& Software**, v.20, n.2, p. 215-229, 2005.
- MELLO, A.Y.I.; ALVES, D.S.; LINHARES, C.A.; LIMA, F.B. Avaliação de técnicas de classificação digital de imagens Landsat em diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia. **Revista Árvo-re**, v.36, n.3, p.537-547, 2012.
- ROSSINI-PENTEADO, D.; MARQUES, M.L.; GUEDES, A.C.M.; GIBERTI, P.P.C. Classificação orientada por regiões em imagem IKONOS para a identificação e análise da cobertura do solo urbano de Ubatuba (SP). *In*: XIII SBSR. **Anais...** Florianópolis, p. 661-669, 2007.
- TUZINE, M.S. **Mapeamento da cobertura e uso da terra a partir de imagens Ikonos na floresta de Inhamacari, província de Manica – Moçambique**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2011, 91 p.