

Cristina Aparicio

ANÁLISE DA RESPOSTA ESPECTRAL DE  
ESPÉCIES DE MACRÓFITAS.

Tese apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia da Universidade de São  
Paulo para a obtenção de título de Doutor  
em Ciências na área de Ecologia de  
Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

Orientadora: Marisa Dantas Bitencourt

São Paulo

2007

Aparicio, Cristina  
ANÁLISE DA RESPOSTA ESPECTRAL  
DE ESPÉCIES DE MACRÓFITAS.

Número de páginas

Tese (Doutorado) - Instituto de  
Biociências da Universidade de São Paulo.  
Departamento de Ecologia de Ecossistemas  
Terrestres e Aquáticos.

1. Sensoriamento Remoto 2.  
Macrófitas 3. Resposta espectral  
I. Universidade de São Paulo. Instituto de  
Biociências. Departamento de Ecologia de  
Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

### Comissão Julgadora:

Welington Braz Carvalho Delitti

---

Prof(a). Dr(a).

Gregório Cardoso Tápias Ceccantini

---

Prof(a). Dr(a).

Dalton de Morisson Valeriano

---

Prof(a). Dr(a).

Arnildo Pott

---

Prof(a). Dr(a).

Marisa Dantas Bitencourt

---

Prof(a). Dr(a).

Orientador(a)

Dedico a  
minha família: Lourdes, Olival e Ricardo Aparicio.

*“Jesus voltou-se então para seus discípulos: Portanto vos digo: não andeis preocupados com a vossa vida, pelo que haveis de comer; nem com o vosso corpo, pelo que haveis de vestir. A vida vale mais do que o sustento e o corpo mais do que as vestes. Considerai os corvos: eles não semeiam, nem ceifam, nem têm despensa, nem celeiro; entretanto, Deus os sustenta. Quanto mais valeis vós do que eles? Mas qual de vós, por mais que se preocupe, pode acrescentar um só côvado à duração de sua vida? Se vós, pois, não podeis fazer nem as mínimas coisas, por que estais preocupados com as outras? Considerai os lírios, como crescem; não fiam, nem tecem. Contudo, digo-vos: nem Salomão em toda a sua glória jamais se vestiu como um deles. Se Deus, portanto, veste assim a erva que hoje está no campo e amanhã se lança ao fogo, quanto mais a vós, homens de fé pequenina! Não vos inquieteis com o que haveis de comer ou beber; e não andeis com vãs preocupações. Porque os homens do mundo é que se preocupam com todas estas coisas. Mas vosso Pai bem sabe que precisais de tudo isso. Buscai antes o Reino de Deus e a sua justiça e todas estas coisas vos serão dadas por acréscimo. Não temais, pequeno rebanho, porque foi do agrado de vosso Pai dar-vos o Reino. Vendei o que possuíis e dai esmolas; fazei para vós bolsas que não se gastam, um tesouro inesgotável nos céus, aonde não chega o ladrão e a traça não o destrói. Pois onde estiver o vosso tesouro, ali estará também o vosso coração.”*

Lucas, 12:22-34, Bíblia.

## Agradecimentos

---

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, que me deu cada suspiro desde que nasci.

Agradeço a minha família, pelo apoio constante, e aos amigos que sempre me amaram sem cobrar nada em troca.

Agradeço a minha orientadora, que além do apoio acadêmico, confiou em minha capacidade e criatividade ao longo desses anos de doutorado, e foi uma amiga sempre presente nos momentos de dificuldade.

Agradeço ao Prof. Timothy John Malthus, por ter me orientado e colaborado para minha tese, durante minha estada na Universidade de Edimburgo, Escócia, ao Christopher MacLellan, que me auxiliou no aprendizado do manuseio dos instrumentos espectroradiométricos.

Agradeço aos professores Sérgio Tadeu, Marcelo Pompêo, Evlyn Novo, Irineu B. Junior, José Galizia Tundisi, Sidney M. Thomaz, que me apoiaram ao longo deste estudo.

Agradeço aos amigos que me ajudaram com seu carinho e amizade ao longo do processo de doutoramento: Gilsom, Cristiane, Juliana, Márcio Nascimento, Lúcia, Adrian, Joana, Fátima, Susan, Stephen, Ângela, Cleber, Helton, Rosângela e cada amigo do meu coração. Também agradeço a todas as pessoas da igreja Presbiteriana do Butantã, que sempre estiveram de braços abertos para me acolher.

Agradeço à Universidade de São Paulo, ao Instituto de Biociências e ao Departamento de Ecologia pela oportunidade de desenvolver esse doutorado.

Agradeço às agências financiadoras CAPES, FAPESP e à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da USP, que possibilitaram a execução deste estudo através do apoio financeiro.

## RESUMO

A discriminação de espécies de macrófitas através de Sensoriamento Remoto vem de encontro à necessidades econômicas e sanitárias geradas pelo aumento dos conglomerados urbanos e seus danos aos ambientes aquáticos continentais. A ausência de pesquisa básica relacionada à obtenção de respostas espectrais específicas tem dificultado a discriminação das espécies de macrófitas infestantes, em imagens multiespectrais. **Objetivos:** Tendo o conhecimento das necessidades de pesquisa básica nesta área, este estudo tem como objetivos analisar a resposta espectral de espécies de macrófitas, buscando sua distinção, e comparar a resposta espectral do Infravermelho Próximo (IVP) às características anatômicas espessura da folha, espessura do parênquima esponjoso, proporção do parênquima esponjoso na folha, e proporção de espaços aéreos no parênquima esponjoso. **Metodologia:** Para atingir os objetivos, foram coletados dados espectralradiométricos de espécies de macrófitas. Num primeiro momento foi testada a distinção entre duas espécies em imagem orbital. Em seguida, foram realizados diversos experimentos em laboratório, os quais foram posteriormente analisados matematicamente buscando suas relações. Foi também realizado o estudo anatômico de folhas de cinco espécies de macrófitas, cujos valores foram comparados com a resposta espectral no IVP. **Resultados:** O banco de dados de respostas espectrais gerado foi comparado inter e intraespecificamente, e foram usados descritores matemáticos para verificar as possibilidades de diferenciação. As folhas com máxima, média e mínima reflectância de cinco espécies escolhidas por serem mais importantes em infestações foram analisadas anatomicamente e foram calculados os valores da espessura da folha, espessura do parênquima esponjoso, proporção do parênquima esponjoso na folha, e proporção de espaços aéreos no parênquima esponjoso. **Conclusões:** Os descritores utilizados para analisar as respostas espectrais se mostraram eficientes na separação entre as espécies estudadas em laboratório. Dentre eles, o que mostrou melhores resultados para a distinção entre espécies foi o índice da Posição do Limite Vermelho. As características anatômicas obtidas com o uso de microscopia confocal e de luz possibilitaram a discriminação das espécies. Além disso, foi possível verificar que as características anatômicas analisadas foram altamente correlacionadas com a Reflectância de algumas das espécies na região do IVP.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Macrófitas, Resposta espectral, Anatomia, Parênquima esponjoso.

### ABSTRACT

The differentiation of macrophytes species using Remote Sensing is recommended in a world where the economy and healthy are being highly injured by the increased number of urban population and their damages to the aquatic environments. The lack of the basic research related to the acquisition of spectral signatures of species has been raising difficulties on the discrimination of them in multispectral images. **Aims:** Knowing this lack of basic research, this work has the goals of analyze the spectral signatures of macrophytes species, looking for its differentiation, and compare spectral the reflectance in the Near Infrared (NIR) region of the Electromagnetic Spectrum with the anatomic variables: thickness of the leaf, thickness of the spongy mesophyll, percentage of the spongy mesophyll in the leaf, and percentage of the aerial spaces inside this mesophyll. **Methodology:** To reach these goals, it was collected spectroradiometric data of macrophytes species. Primarily it was tested the differentiation between two species in an orbital image. Afterward, it was carried out some laboratory experiments, which were mathematically analyzed looking for their relationships. Then, it was accomplished the leaves anatomical studies of five macrophytes species, whose values where compared with the spectral signature in the NIR region. **Results:** The initial spectral signatures database was compared inter and intra-specifically, and it were used mathematical descriptors to verify the possibilities of species differentiation. Leaves with maximum, medium and minimum reflectance of five species chosen because of their importance on infestations, was anatomically analyzed and it were calculated the values of the thickness of the leaf, thickness of the spongy mesophyll, percentage of the spongy mesophyll in the leaf, and percentage of the aerial spaces inside this mesophyll. **Conclusions:** The descriptors used to analyze the spectral signatures denote efficiency in the differentiation of macrophytes species in laboratory. Among them, the one that has been showed the best results for the species differentiation was the *Red Edge Position*. The anatomical characteristics achieved with confocal and light microscopy made feasible to differentiate the species. Besides that, it was possible to verify that the analyzed anatomical characteristics were highly correlated with reflectance in some species in the NIR region.

**Key-words:** Remote Sensing, Macrophytes, Spectral signature, Anatomy, Spongy Parenchyma.

## Índice

INTRODUÇÃO GERAL E APRESENTAÇÃO	1
OBJETIVOS	7
CAPÍTULO I – UTILIZAÇÃO DE DADOS DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA LOCALIZAÇÃO E SEPARAÇÃO DE ESPÉCIES DE MACRÓFITAS NO RESERVATÓRIO BILLINGS, SÃO PAULO	11
I.1 – INTRODUÇÃO	11
I.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	15
I.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
I.4 – CONCLUSÕES	23
I.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
I.6 – AGRADECIMENTOS ESPECIAIS	25
CAPÍTULO II – OBTENÇÃO DE RESPOSTA ESPECTRAL DE ESPECIES DE MACRÓFITAS EM LABORATÓRIO	26
II.1 – INTRODUÇÃO	26
II.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
II.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
II. 4 – CONCLUSÕES	44
II.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
II.6 - APÊNDICE	46
CAPÍTULO III – ESTUDO DO ESTRESSE HÍDRICO DE FOLHAS DE MACRÓFITAS QUANDO SUBMETIDAS A EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIO	56
III.1 – INTRODUÇÃO	56



III.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	58
III.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
III. 4 – CONCLUSÕES	64
CAPÍTULO IV – DISTINÇÃO ENTRE ESPÉCIES DE MACRÓFITAS ATRAVÉS DO	
ESTUDO DE SUAS RESPOSTAS ESPECTRAIS	
IV. 1 – INTRODUÇÃO	65
IV.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	68
IV.2.1 – Intensidade média nas Faixas espectrais de interesse	69
IV.2.2 – Comprimentos de onda nos picos de reflectância dentro das faixas	69
IV.2.3 – Posição do Limite Vermelho ou REP (Red Edge Position)	70
IV.2.4 – Índices entre faixas	71
IV.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
IV.3.1 – Intensidade média nas Faixas Espectrais de interesse	73
IV.3.2 – Comprimentos de onda nos Picos de Reflectância dentro das Faixas	76
IV.3.3 – Posição do Limite Vermelho	78
IV.3.4 – Índices entre faixas	83
IV.4 – CONCLUSÕES	85
CAPÍTULO V – UTILIZAÇÃO DE ANÁLISES ANATÔMICAS MICROSCÓPICAS PARA	
EXPLICAR ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ESPECTRAL DE ESPÉCIES DE	
MACRÓFITAS	
V.1 – INTRODUÇÃO	90
V.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	95

V.2.1 – Medidas radiométricas	95
V.2.2 – Medidas anatômicas	96
V.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
V.3.1 – Análises anatômicas	100
VI.3.2 – Análises conjuntas dos dados anatômicos e espectralradiométricos	106
V.4 – CONCLUSÕES	116
V.5 – AGRADECIMENTOS ESPECIAIS	117
V.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
V.6 – APÊNDICE	119
Análises conjuntas dos dados anatômicos e espectralradiométricos	121
CAPÍTULO VI – UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM PARA SIMULAR A RESPOSTA ESPECTRAL DE EGERIA Densa DE ACORDO COM A PROFUNDIDADE	131
VI.1 – INTRODUÇÃO	131
VI.2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	138
VI.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	139
VI.4 – CONCLUSÕES	144
CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

