

# **Realce de imagem multiespectral aplicado à geobotânica em áreas cobertas por Floresta Atlântica: um caso no Parque Estadual Campina do Encantado – SP**

Rodrigo da Cunha Pacheco<sup>1</sup>  
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida<sup>2</sup>

Universidade de São Paulo – Departamento de Geografia/FFLCH<sup>1</sup>  
Av. Prof. Lineu Prestes, 338 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-000  
rodrigopacheco@usp.br  
rodrigocp.geo@gmail.com

Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências<sup>2</sup>  
Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-080  
talmeida@usp.br

## **Abstract**

This paper presents the results of the implementation of the systemic processing image method adapted to the geocologic conditions of Coastal Plain Atlantic Forest in Pariquera-Açu municipality, Sao Paulo State. Geobotany deals with the study of the relationships between ecotopes and plant communities. The systemic method of searching is, using optical multiespectral and hyperspectral remote sensing, a tool for geological, ecological and forest studies. The method proposes the adoption of five steps sequence, including band ratios, principal component analysis, false color compositions, low pass filtering and albedo image introduction. The geocologic conditions of State Park of Campina do Encantado, where the method was applied, also required the use of Gaussian contrast stretch on the albedo image. Once systemic processing image method explores potentialities of optical sensors, it searches to use not only VIS (to extract information about pigments) and NIR spectral regions, as it has been traditionally done, but also the SWIR to extract information about leaf components besides water such as lignin and starch. For the purposed objectives, the method showed a 100% efficiency index, opening new horizons for implementation of geobotany by remote sensing in coastal plain areas covered by Atlantic Forest, which may be of interest to specialists of many scientific fields like geography, geology and botany.

**Palavras -chave:** Remote sensing, systemic method, image processing, ecotopes, plant communities.

## **1. Introdução**

A geobotânica se constitui em um campo de pesquisa o qual se ocupa com a distribuição das plantas em relação aos seus habitats. Um princípio fundamental desse ramo de estudo é a profunda relação entre as características florísticas e fisionômicas das comunidades vegetais com os seus ambientes, ou ecótopos, permitindo utilizar a vegetação como indicadora de alterações nas características do meio físico, algo de interesse para pesquisas na área de geocologia, geologia, pedologia, agricultura, entre outras. O sensoriamento remoto se constituiu historicamente em instrumento auxiliar para pesquisas de atributos da paisagem. Nesse contexto, o método de processamento digital proposto por Almeida (2005), conhecido como método sistêmico, se apresenta como uma das opções para o uso do sensoriamento em pesquisas geobotânicas.

O método considera que as plantas são formadas por pigmentos, água foliar e matéria seca como lignina e amido, além de diferentes arquiteturas de dosséis. Ele considera ainda o fato de que espécies diferentes, ou sob diversas influências ambientais, como situações de estresse hídrico, possuem concentrações diferenciadas de compostos foliares. O objetivo do processamento por essa abordagem é utilizar as feições de absorção dos compostos foliares e da informação textural produzida pelo albedo para realçar as diferentes comunidades vegetais.

O método foi aplicado ao Parque Estadual Campina do Encantado (PECE), localizado no município de Parquera-Açu no Estado de São Paulo, em área de planície costeira, coberta pela Floresta Atlântica (figura 1). A área foi escolhida devido à disponibilidade de dados florísticos sobre parte de suas unidades florestais e por se encontrar em ambiente de planície fluvio-marinha. Nesse tipo de ambiente existe uma profunda relação entre as comunidades vegetais e as características dos ecótopos, como os tipos de solo, o que fez muitos pesquisadores as denominarem como comunidades edáficas (SZTUTMAN, 2000).

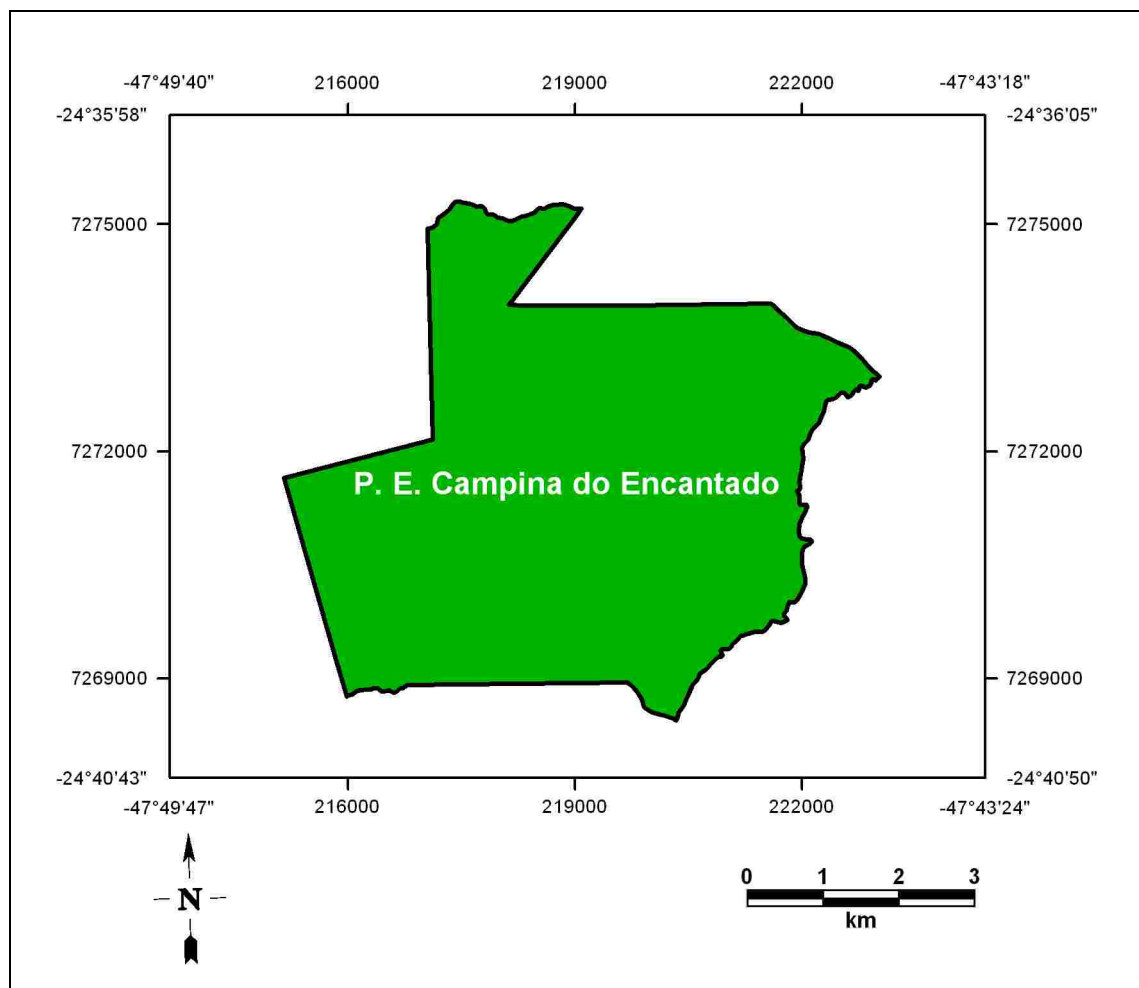


Figura 1: Mapa de localização do Parque Estadual Campina do Encantado.

Segundo Rizzini (1997) a vegetação da região litorânea é intimamente dependente do substrato e do relevo, ressalta-se essa condição, pois para ambientes de florestas situadas em baixa latitude e altitude, como a Floresta Amazônica, onde o método de processamento já foi aplicado, existe a proposta de um modelo ecológico neutro como explicação para sua biodiversidade. Segundo tal modelo as propriedades ecológicas de qualquer indivíduo em uma população são idênticas, nessa perspectiva Condit et al. (2002) consideraram que a similaridade florística é relacionada com o logaritmo da distância geográfica, o que indicaria mudanças graduais e ausência de contatos bruscos entre as comunidades vegetais. Essa hipótese dificulta a prática da geobotânica por sensoriamento remoto. No PECE, há mudanças relativamente bruscas entre as comunidades vegetais que correspondem às variações das características do meio físico. Tais formas variáveis formam padrões espectrais que podem ser interpretados através de imagens multiespectrais e o método sistêmico busca exatamente realçar tais feições espectrais.

O objetivo da pesquisa foi identificar através da aplicação do método sistêmico três comunidades vegetais do PECE, que de acordo com Sztutmam (2000), são florística e ambientalmente distintas. Uma das comunidades florestais se localiza em área livre de inundações e foi chamada de floresta sobre morrote, enquanto as outras duas são comunidades sobre turfeiras, com a diferença de uma estar sobre turfeira profunda sem água superficial aparente e a outra sobre turfeira rasa com água superficial aparente.

## 2. Metodologia de Trabalho

A metodologia de trabalho consistiu de dois momentos. Na primeira fase se buscou aplicar o método sistêmico no processamento da imagem ASTER com nível L1B do pré-processamento (AST\_L1B\_00303232001133902\_20070507175233\_4740). Já na segunda fase foram adotados alguns procedimentos detalhados mais adiante para verificar a eficácia do método no realce das três unidades florestais do PECE.

### 2.1 Primeira Fase – Etapa do Realce Espectral

A primeira etapa do processamento de realce, de acordo com o método sistêmico, consistiu na aplicação da razão de bandas sobre um conjunto original de imagens com resolução espacial de 15 metros (as bandas do SWIR foram reamostradas para a resolução de 15 metros), com o objetivo de promover o realce das respostas espectrais associadas aos componentes mais específicos da vegetação (água foliar, pigmentos e outros compostos bioquímicos). A razão de bandas consiste na divisão dos NDs (números digitais), que formam uma imagem em determinada região espectral, pelos NDs correspondentes em imagem de outra banda espectral (SABINS, 1986 p.263). Conforme Schowengerdt (2007, p.186) a equação básica dessa transformação espectral de natureza não linear pode ser representada pela equação 1:

$$R_{mn}(x, y) = \frac{ND_m(x, y)}{ND_n(x, y)} \quad (1)$$

Onde:

$R_{mn}(x, y)$  é o ND do índice espectral gerado.

$ND_m(x, y)$  é o ND na imagem de referência.

$ND_n(x, y)$  é o ND na imagem índice

Lillesand e Kiefer (1994) consideraram as imagens de razão entre bandas como “*intensity blind*”. Assim, como fator negativo proveniente da aplicação dessa técnica tem-se a supressão da informação textural presente nas imagens, algo que deve ser recuperado em momento posterior.

Embora Jensen (1996) tenha observado que geralmente ao aplicar a razão de bandas, os analistas a fazem de forma aleatória, selecionando aquelas com maior apelo visual, não é o que ocorre no método sistêmico, segundo o qual os índices espectrais devem ser formados com a finalidade de realçar compostos foliares, requerendo conhecimentos sobre o comportamento espectral da vegetação.

As feições diagnósticas dos pigmentos ocorrem na região do visível (VIS). De acordo com dados fornecidos por Baret (1999), é possível apontar que entre 400 e cerca de 525 nm há intensa sobreposição de feições de absorção de pigmentos, como as clorofilas e os carotenóides, ao passo que em cerca de 650 e 675 nm há feições de absorção das clorofilas de forma mais isolada, portanto espectralmente mais puras.

Na região do infravermelho próximo (NIR), há pouca absorção da radiação eletromagnética (REM) devido à estrutura celular das plantas (JACKSON, 1986), o que

aumenta consideravelmente a reflectância das coberturas vegetais nesse intervalo espectral.

Já na região do infravermelho ondas curtas (SWIR), ainda conforme dados fornecidos por Baret (1999), ocorre forte absorção da REM pela água foliar e pelos compostos da matéria seca como proteína, celulose, hemicelulose, amido, açúcar e lignina. A preponderância da absorção da REM por parte da água foliar nessa região a faz ser conhecida como a região de absorção da água (JACKSON, 1986). Observa-se grande sobreposição de feições espectrais na região do infravermelho ondas curtas, com feições diagnósticas de maior destaque do amido e da lignina. Embora ocorram tais feições, muitos pesquisadores duvidam da possibilidade de obter informações a respeito da matéria seca no SWIR, devido à intensa absorção de REM por parte da água foliar, o que mascararia as respostas dos demais compostos foliares. Embora ainda não exista um consenso sobre a possibilidade de registrar dados sobre a matéria seca no SWIR devido à ampla dominância da água foliar, experimento conduzido por Kokaly e Clark (1999) que estudaram a influência da água no espectro de reflectância de uma folha indicou essa possibilidade. Nesse experimento foram obtidos espectros de reflectâncias de uma folha seca com acréscimos sucessivos de 10% de água. Foi possível perceber grande variabilidade na intensidade de absorção da energia com a variação no teor de água foliar, o que mascararia a resposta espectral da matéria seca, mas verificou-se a existência de uma janela deixada pela água na região entre 2150 e 2350 nm, onde praticamente não há influência da variação dos teores de água foliar sobre o espectro de reflectância. Ocorre que essa janela espectral deixada pela água foliar coincide com grandes feições de absorção de REM por parte da matéria seca como o amido e a lignina, e abre perspectivas para a obtenção de dados sobre a matéria seca mesmo no SWIR.

Com base no comportamento espectral dos componentes foliares das plantas foram formulados os índices espectrais com o objetivo de realçá-los. A tabela 1 mostra os índices espectrais possíveis de serem formulados, considerando a resolução espectral apresentada pelo ASTER. O índice em destaque foi o único não utilizado na pesquisa.

Quadro 1: Índices espectrais para o sensor ASTER (Modificado de ALMEIDA, 2005).

Compostos/propriedade foliar	ASTER (Índices Espectrais)
Clorofilas <i>a</i> e <i>b</i>	Banda1/Banda2
Clorofilas <i>a</i> e <i>b</i> e carotenóides	Banda3/Banda1
Clorofilas	Banda3/Banda2
Água foliar (LWC)	Banda3/Banda4
<b>Compostos bioquímicos</b>	<b>Banda1/Banda5*Banda6*Banda7*Banda8</b>
Compostos bioquímicos (ênfase no Amido)	Banda3/Banda5
Compostos bioquímicos (ênfase na Lignina)	Banda3/Banda8

Após a elaboração dos índices espectrais, a segunda etapa conforme o método adotado consistiu na aplicação da análise de componentes principais (ACP) sobre os índices espectrais. A ACP é uma técnica estatística multivariante de transformação, na qual 'm' variáveis correlacionadas são transformadas em 'm' variáveis ortogonais, o que pode ser feito a partir da matriz de variância-covariância ou a partir da matriz de correlação (LANDIM, 2006). A fórmula básica de transformação realizada pela ACP, conforme Richards e Xiuping (2006) é apresentada na equação 2.

$$y = D^t x \quad (2)$$

Onde:

*y* representa os valores dos NDs das componentes principais geradas.

*D*<sup>t</sup> é a matriz de transformação, ou a transposta da matriz de autovetores.

*x* representa os valores de cada pixel em cada banda analisada.

A ACP no método sistêmico possui como objetivo separar as parcelas de informação

redundante e as de informação espúria, concentrando a informação de interesse em componentes específicas (ALMEIDA, 2005).

Em uma terceira etapa, as componentes principais (CP) geradas devem ser escolhidas para formação de composições coloridas falsa cor. Para saber sobre qual índice cada CP mais informa deve ser consultada a matriz de autovetores ou de transformação. Uma vez que cada índice espectral contribui com determinado peso na formação das CPs, considera-se que as CPs informam basicamente sobre aqueles índices que possuem maior peso em suas formações, algo válido principalmente para as CPs de maior ordem, haja visto que a CP1 concentra a informação mais correlacionada do conjunto.

Após a geração das composições coloridas aplicou-se como terceira etapa do método um filtro de convolução passa baixa com tamanho de 11x11. Lillesand e Kiefer (1994) apontaram como efeito dessa técnica o realce da baixa frequência de uma imagem, bem como a minimização dos componentes de alta frequência. Por componentes de alta frequência devem ser entendidos os poucos pixels isolados com valores destoantes dos pixels vizinhos produzindo, conseqüentemente, feições com contrastes abruptos nas imagens. As feições de baixa frequência, ao contrário, são aquelas representadas relativamente por inúmeros pixels onde a transição de valores dos NDs são mais suaves. Na geobotânica de exploração o que importa são informações dominantes de uma área, assim as variações bruscas de pixels isolados não têm relevância e devem ser suprimidas pela filtragem.

Por fim, a quinta fase consistiu na recuperação da informação de albedo perdida nas razões de bandas. Considerando-se sensores com média resolução espacial, em florestas a arquitetura dos dosséis relaciona-se diretamente com a resposta de albedo e para introduzir esta informação, faz-se uma fusão entre as composições coloridas formadas e a CP1 das bandas originais, já que nesta CP estará a informação mais correlacionada, que é o albedo.

## 2.2 Segunda Fase

Para a conferência da eficácia do método em realçar as três distintas unidades florestais do PECE, após as composições estarem prontas, foram plotadas sobre as mesmas as coordenadas dos locais para os quais havia a caracterização florística, fisionômica e geocológica, verificando se os pontos correspondiam a diferentes padrões de cores, tonalidades ou textura nas composições.

## 3. Resultados e Discussão

Durante a aplicação das técnicas propostas pelo método sistêmico enfrentou-se um problema na etapa de introdução da imagem de albedo nas composições coloridas formadas pela ACP sobre os índices espectrais. Acontece que a CP1 gerada sobre bandas da imagem original gerou uma cena com NDs concentrados em baixos níveis de cinza, mesmo com a aplicação de realce linear como mostra o histograma (figura 2).

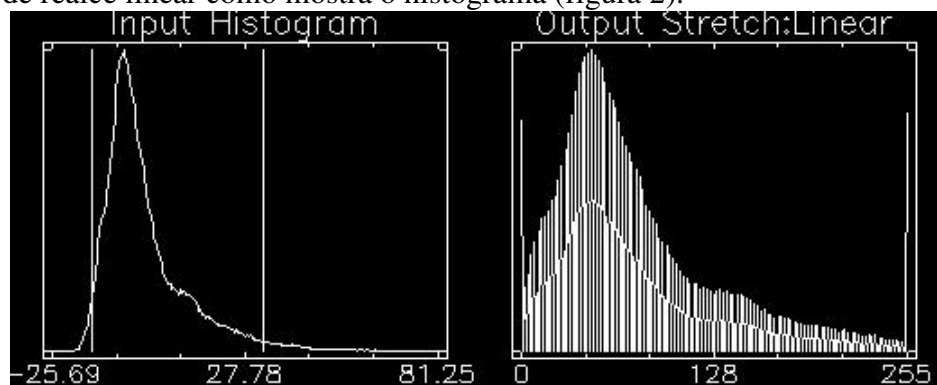


Figura 2: Histogramas de entrada e saída (com realce linear) da imagem de albedo (a partir da CP1 gerada com ACP sobre a matriz de variância-covariância).

O albedo com tonalidades concentradas em valores mais baixos de cinza prejudicou a visualização das comunidades vegetais realçadas através das composições formadas pelas CPs, bem como impediu a visualização de maiores detalhes da cena. Para resolver o problema foi feito um realce adicional na imagem de albedo originalmente não previsto pelo método. O procedimento consistiu na aplicação da técnica de realce gaussiano, a qual, como lembrou Richards e Xiuping (2006), promove alterações no histograma de forma que o mesmo passa a concentrar os níveis de cinza em valores intermediários. Assim, se um histograma concentra seus valores originalmente em baixos valores de níveis de cinza, o realce gaussiano permite aumentar o brilho da imagem ao deslocar os valores para regiões mais intermediárias, o que de fato ocorreu como mostra a figura 3.

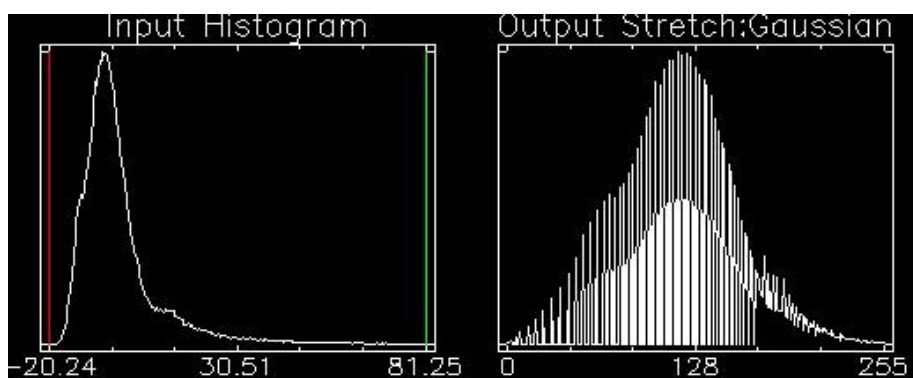


Figura 3: Histogramas de entrada (com realce linear) e de saída (com realce gaussiano) da imagem de albedo (a partir da CP1 gerada com ACP sobre a matriz de variância-covariância).

O procedimento produziu resultados bastante satisfatórios. A figura 4 mostra a imagem de albedo sem o realce gaussiano e a imagem de albedo com o realce gaussiano, nas quais em vermelho aparecem os limites do PECE.

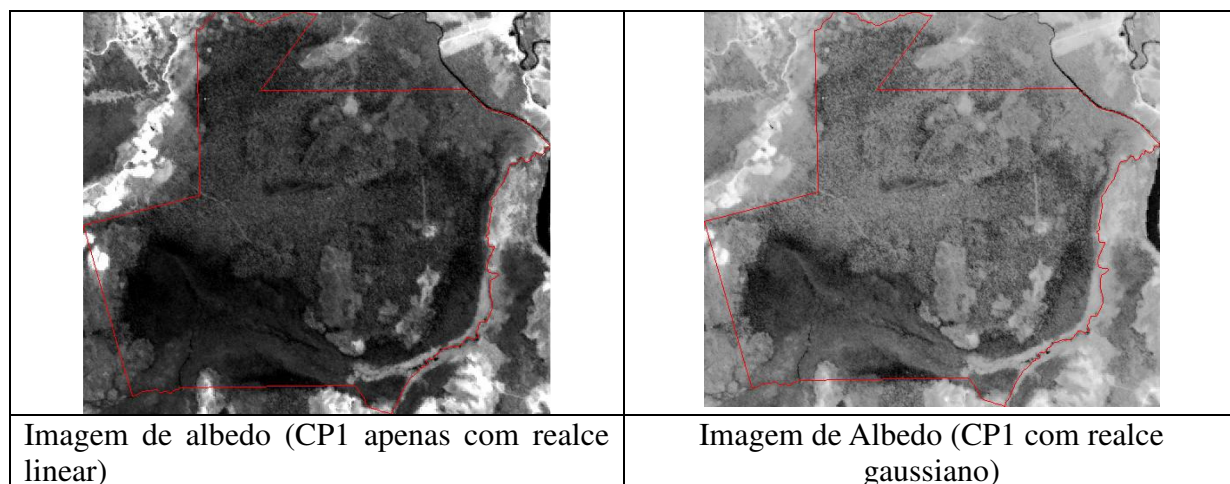


Figura 4: Diferenças das CPs1 como fonte de informação textural.

Após as composições coloridas ficarem prontas, foi introduzida a imagem de albedo com realce gaussiano nas mesmas. As coordenadas dos pontos para os quais haviam dados florísticos, fisionômicos e geocológicos foram também plotados nas composições e em várias delas foi possível constatar eficácia de 100% no realce das comunidades vegetais, uma vez que as três unidades florestais se apresentaram como feições diferentes de forma bastante nítida, como mostram os exemplos da figura 5, na qual somente são utilizadas CPs com informações mais independentes, e da figura 6, na qual é utilizada a CP1 que possui maior

variância entre as CPs. Observe-se que esta composição, ainda que apresente 98,93% da variância total é tonalmente mais pobre que a imagem da figura 5, que tem apenas 1,08% da variância.

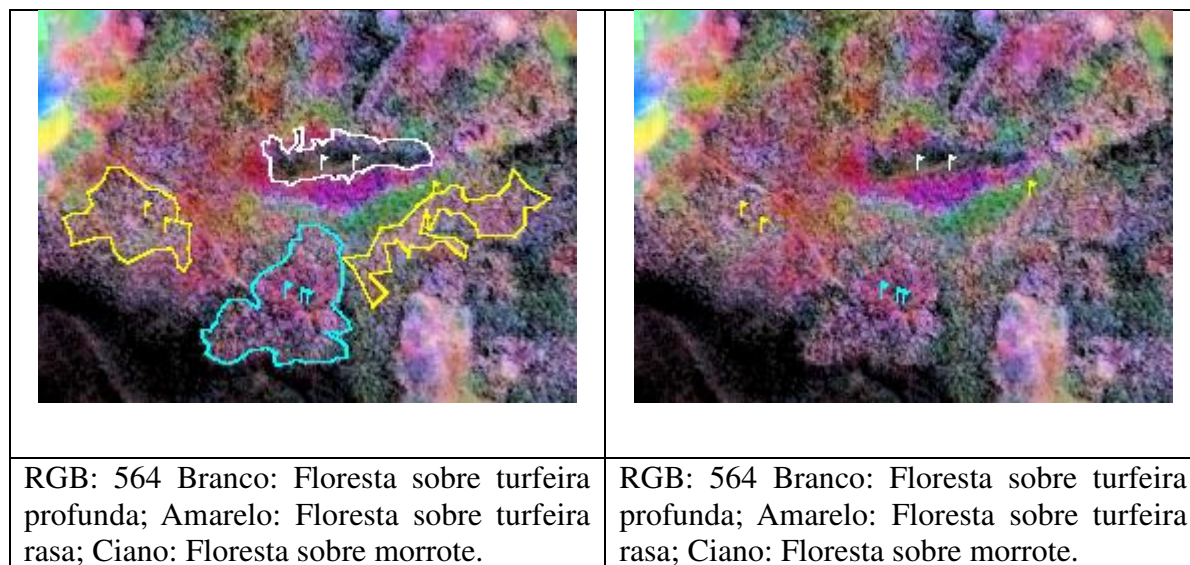


Figura 5: Composição colorida das CPs 5, 6 e 4 sem a CP1 (adotando a matriz de variância-covariância para geração das PCs).

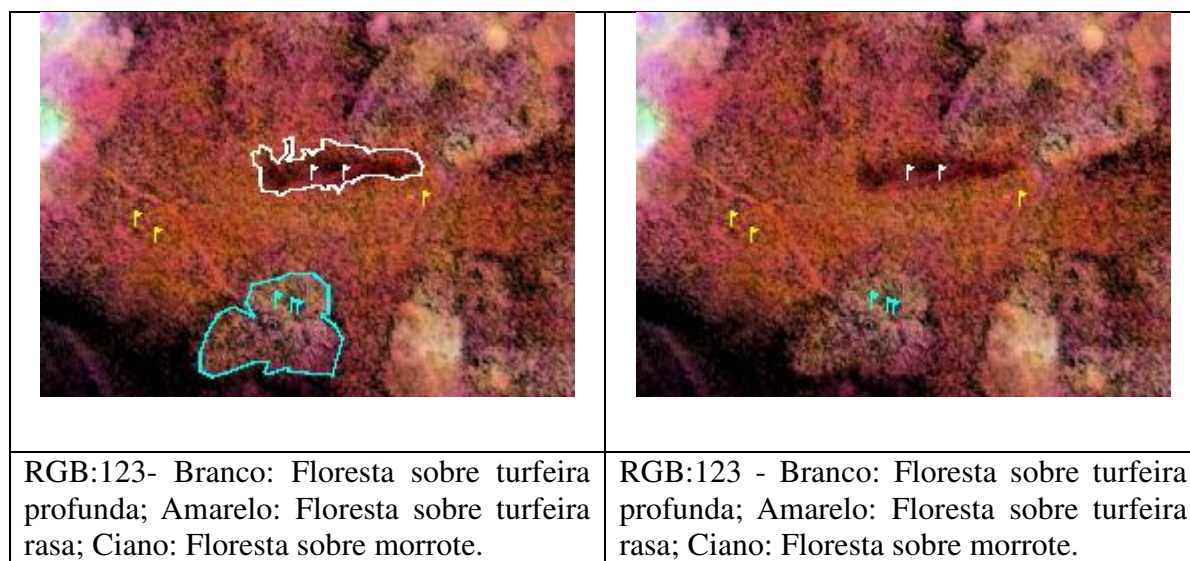


Figura 6: Composição colorida das CPs 1, 2 e 3 com a CP1 (adotando a matriz de variância-covariância para geração das CPs).

#### 4. Conclusões

O método sistêmico permitiu realçar as três diferentes comunidades florestais do PECE mantidas por diferentes tipos de ecótopos, mostrando a eficácia do método para ser aplicado em estudos geobotânicos a partir do sensoriamento remoto em ambientes cobertos por Floresta Atlântica da planície costeira. O uso do SWIR nessa pesquisa serviu para a obtenção de dados espectrais produzidos pela matéria seca, além da água, o que se constitui em fato relevante na medida em que grande parte dos estudos que envolvem a vegetação tem se concentrado nas regiões do VIS e do NIR.

## Referências Bibliográficas

Almeida, T. I. R. **Geobotânica por sensoriamento remoto em florestas tropicais e a abordagem sistêmica: uma ferramenta auxiliar no mapeamento geológico regional e na prospecção mineral.** Instituto de Geociências. 2005. 158 p. Tese (Livre Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

Baret, F. **Espetros de pigmentos e compostos bioquímicos foliares: planilhas com dados de reflectância.** Informação escrita enviada por Frédéric Baret, INRA Avignon, França, 1999.

Condit, R.; PITMAN, N.; LEIGH E. G. JR.; CHAVE, J.; TERBORGH, J. E.; FOSTER, R. B. Beta-diversity in tropical Forest trees. **Science**, v. 295, p. 666-669, 2002.

Jackson, R. D. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. **Ann. Rev. Phytopathol**, v. 24, p. 265-287, 1986.

Jensen, J. R. **Introductory digital image processing : a remote sensing perspective.** 2 ed. Upper Saddle River, N.J : Prentice Hall, 1996. 316 p.

Kokaly, R. F.; Clark, R. N. Spectroscopic determination of leaf biochemistry using band-depth analysis of absorption features and stepwise multiple linear regression. **Remote Sensing of Environment**, v. 67, p.267-287, 1999.

Landim, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/>>. Acesso em: 01 nov. 2008.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.

Richards, J. A.; Xiuping, J. **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** 4 ed. Berlin: Springer, 2006. 439 p.

Rizzini, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil.** 2 Ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições, 1997. 747 p.

Sabins, F. **Remote sensing: principles and interpretation.** New York: W.H. Freeman & Co, 1986. 449 p.

Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing.** 2 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 522 p.

Sztutman, M. **O Mosaico Vegetacional da Planície Litorânea de Cananéia/Iguape (SP) e suas Relações com o Ambiente: Um Estudo de Caso no Parque Estadual da Campina do Encantado, Pariquera-Açu.** 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.