

# ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS APLICADOS NA DISCRIMINAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM RELEVO MONTANHOSO

## VEGETATION RATES OBTAINED FROM MULTISPECTRIC IMAGES APPLIED IN THE DISCRIMINATION OF VEGETABLE COVERAGE IN MOUNTAIN RELIEF

Cristiane Nunes Francisco<sup>1</sup>, Nina Cardoso Gruber<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil

Correspondência para: Cristiane Nunes Francisco (crisnf@vm.uff.br)

doi: 10.12957/geouerj.2018.16931

Recebido em: 26 jun. 2015 | Aceito em: 15 jan. 2018



### RESUMO

Os índices de vegetação são utilizados para investigar as propriedades espectrais da vegetação e podem ser relacionados a parâmetros biofísicos. Também podem ser utilizados para minimizar os efeitos de iluminação causados pela topografia na resposta espectral, o que dificulta a discriminação da fisionomia da vegetação. Para avaliar a eficiência dos índices de vegetação na discriminação da cobertura vegetal em áreas montanhosas, foram calculados dois índices de imagens multiespectrais do LANDSAT8/OLI que cobrem o Maciço da Tijuca, situado na área central da cidade do Rio de Janeiro. Os resultados revelaram que ambos índices (IVDN e RS) foram eficientes para separar os corpos d'água e discriminar as classes de vegetação e não-vegetação. Contudo, a área urbana, sombra e rocha ficaram misturadas, enquanto não foi possível classificar a fisionomia da vegetação devido ao efeito da iluminação nos índices de vegetação. A floresta localizada nas encostas sul, que recebia menor iluminação no momento de coleta dos dados pelo sensor orbital, apresentou índices similares à vegetação herbácea e, desta forma, não foi possível separá-las. Enquanto a floresta localizada nas vertentes norte e oeste, que recebiam menos iluminação solar, apresentaram os maiores índices e não confundiu com outras classes de cobertura da terra. Conclui-se que os índices de vegetação (IVDN e RS) não foram eficientes na minimização dos efeitos topográficos na discriminação da fisionomia da vegetação. Por outro lado, os índices mostraram-se eficientes para demonstrar que as bacias hidrográficas situadas em áreas protegidas apresentaram índices mais elevados do que as bacias localizadas próximas às áreas urbanas.

**Palavras-chave:** índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN), razão simples (RS), índices de vegetação, sensoriamento remoto.

### ABSTRACT

*The vegetation indices are used to investigate the properties of spectral vegetation and can be related to the biophysics parameters. In addition, they can also be used to minimize illumination effects caused by the topographic on spectral response that difficult to distinguish vegetation physiognomy. To evaluate the efficiency of vegetation indices to distinguish the vegetation cover in mountainous area, it was calculated two indices from LANDSAT8/OLI multispectral bands that cover the Tijuca Massif, situated on central zone of Rio de Janeiro city. The results revealed that the both vegetation indices (NDVI and SR) had efficiency to separate water bodies and to discriminate vegetation and non-vegetation classes. However, the urban area, shadows and rocks were mixed, while it was not possible to classify the vegetation physiognomy because of the effect solar illumination on the vegetation indices. The forest located at southern slopes, which received less solar illumination at the time the orbital sensor collected the data, had indices similar to herbaceous vegetation, and in this way it was not possible to separate them. While the forest located at northern and western, which were received more solar illumination, had the most elevated indices and it was not confused with other types of land cover. In conclusion, the indices vegetation (IVDN and SR) were not efficient to minimize the topographic effects to discriminate the vegetation physiognomy. On other hand, the indices showed efficient to demonstrate that watersheds located at protected area had more elevated indices than the basin located near de urban area.*

**Keywords:** normalized difference vegetation index (NDVI), simple ratio (SR), vegetation index, remote sensing, LANDSAT8/OLI,

## INTRODUÇÃO

Documentos cartográficos e imagens multiespectrais associados a trabalhos de campo são recursos tradicionais utilizados para mapeamento da cobertura vegetal. Com o avanço tecnológico na obtenção de dados da superfície terrestre por sensores remotos, aumentam as potencialidades do uso de imagens, pois incorporam resoluções cada vez mais refinadas capazes de gerar informações espaciais e espectrais detalhadas, diminuindo o tempo necessário dedicados à realização dos trabalhos de campo, bem como possibilitando a obtenção de dados em locais de difícil acesso.

Os métodos e técnicas utilizados para o mapeamento da vegetação baseado em imagens abrangem desde procedimentos associados exclusivamente à interpretação visual a procedimentos totalmente automatizados baseados em técnicas de processamento digital. No entanto, independente dos procedimentos adotados, visual ou automático, existem dificuldades na identificação das fisionomias da cobertura vegetal nas imagens, principalmente, em áreas montanhosas, onde o relevo acidentado afeta a resposta espectral do alvo.

Algumas das características da cobertura vegetal que influenciam na sua resposta espectral relacionam-se à estrutura física da vegetação, ao arranjo espacial dos indivíduos e à arquitetura do dossel (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). No caso das florestas tropicais, a complexidade estrutural é devida ao elevado número de espécies com dossel volumoso e irregularmente estratificado e também à distribuição aleatória dos indivíduos. Esses aspectos contribuem para o aumento da complexidade das respostas espectrais (ALBUQUERQUE et al., 2011).

Entre os fatores do ambiente que exerce forte influência na resposta espectral da vegetação está a topografia. Nos terrenos irregulares, a variação da declividade e orientação das vertentes ocasiona a diferença de incidência solar nas encostas, provocando alta variabilidade da resposta espectral mesmo em tipos de vegetação similares: as encostas sombreadas apresentam menor reflectância do que a prevista, enquanto nas ensolaradas o efeito é contrário (RIAÑO et al., 2003).

Além da incidência solar, a topografia influencia nas características locais do ambiente que afetam diretamente a composição florística, sendo considerada, na escala local, como o mais importante fator na distribuição espacial e na estrutura das florestas tropicais, pois condiciona as propriedades dos solos, particularmente no regime de água e na fertilidade (RODRIGUES et al., 2007).

Como forma de explorar as propriedades espectrais da vegetação, são usados os índices de vegetação, derivados de operações aritméticas, especialmente, entre as regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, e possibilitam, além da avaliação das condições da cobertura vegetal, a minimização dos efeitos de iluminação da cena, causados pela topografia do terreno e pela geometria de aquisição, e que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A fundamentação da proposição dos índices de vegetação reside no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo. Quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor é a reflectância na faixa do visível em função dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem energia nessa região espectral. Em contrapartida, maior é a reflectância na faixa do infravermelho próximo, em decorrência do espalhamento múltiplo da radiação nas diferentes camadas das folhas (JENSEN, 2009).

Desta forma, a diferença entre a reflectância da banda do infravermelho próximo e do visível indica a densidade da cobertura vegetal. Quanto maior for o contraste entre as duas bandas, mais densa é a cobertura vegetal imageada, representando, assim, um índice adequado para análise da cobertura vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A fim de avaliar a eficiência dos índices de vegetação na diferenciação da fisionomia da cobertura vegetal em área montanhosa, neste artigo foram calculados dois índices de vegetação, baseados nas bandas multiespectrais do LANDSAT8/OLI, que recobrem o Maciço da Tijuca, localizado do município do Rio de Janeiro. Objetiva-se, assim, verificar se os índices de vegetação minimizam a

influência da topografia na resposta espectral da vegetação e, desta forma, possibilitam a discriminação da fisionomia da vegetação em terrenos com topografia irregular.

Neste artigo optou-se por utilizar a caracterização da fisionomia da vegetação a despeito dos estágios sucessionais, amplamente utilizados no mapeamento da cobertura vegetal. A Resolução CONAMA n° 10/1993, que define os parâmetros básicos para caracterização dos estágios de sucessão da Mata Atlântica, indica que sejam utilizados, além da fisionomia, os índices biofísicos, como diâmetro da altura do peito e índice de área foliar, as informações sobre a composição florística, como diversidade e dominância de espécies, bem como outros critérios, que apenas podem ser obtidos em trabalhos de campo. A fisionomia da vegetação, que pode se relacionar à resposta espectral do alvo, corresponde à forma da vegetação e de seu estrato, classificado em herbáceo, arbustivo e arbóreo, e a seu grau de perturbação antrópica, ou à combinação destes (METZGER, 2001).

### **Descrição da área de estudo**

O Maciço da Tijuca, situado na zona central do Rio de Janeiro, é um dos três maciços localizados neste município (Figura 1). É caracterizado por relevo muito acidentado, tendo como ponto culminante o Pico da Tijuca, com 1.021 m de altitude, e área total de 12 mil ha, considerando a curva de nível 40 metros com limite da base do maciço.

Devido ao relevo montanhoso, é coberto predominantemente por um fragmento do bioma Mata Atlântica, integrante da Reserva da Biosfera, onde está localizado o Parque Nacional da Tijuca (PARNA Tijuca). Por estar situada no interior de uma densa malha urbana, a cobertura florestal do maciço possui grande importância para população carioca, por desempenhar serviços ambientais à cidade, como auxílio na regulação do equilíbrio hídrico, controle de erosão de encostas, prevenção contra o assoreamento dos cursos d'água, conservação da qualidade do solo e regulação do clima (MMA, 2008).

No entanto, apesar de sua importância, o Maciço da Tijuca é atingido por intervenções antrópicas desde o século XVIII. Além da extração madeira, ocorrida entre meados do século XVIII e século XIX, a floresta foi substituída por cafezais após sucessivas queimadas extensivas, o que ocasionou na perda da capacidade de estocagem das águas pluviais nos aquíferos subterrâneos, trazendo problemas de abastecimento da cidade. Com a crescente demanda por água, perdas econômicas e insatisfação dos cafeicultores, o Governo Imperial passou a adotar medidas para preservar e recuperar os mananciais d'água, como a desapropriação dos cafezais e o reflorestamento com espécies nativas e exóticas, que propiciaram a regeneração florestal também beneficiada pela redução de pressões antrópicas (ABREU, 2008; MMA, 2008).

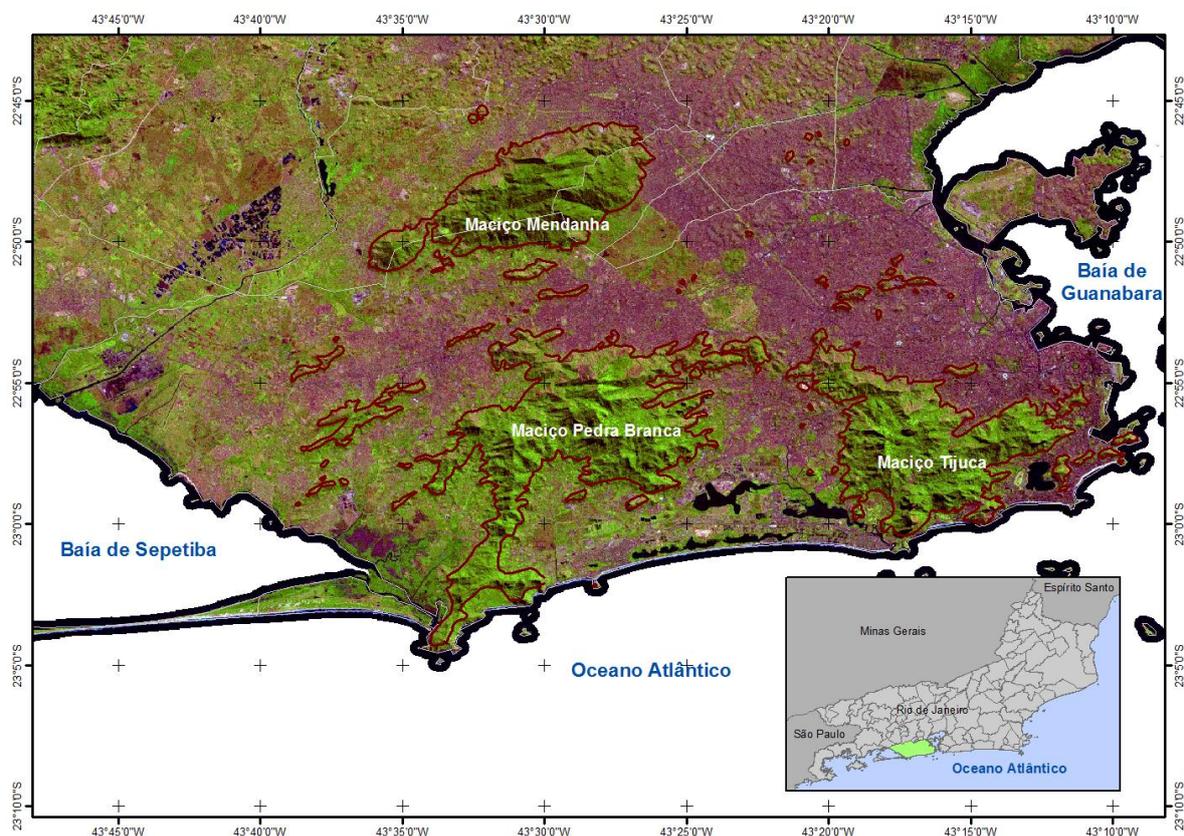


Figura 1. Localização do Maciço da Tijuca, RJ.

Além da histórica intervenção antrópica, a orientação NE/SW do Maciço da Tijuca exerce forte influência nas características da vegetação. As encostas orientadas para o sul apresentam menor incidência de raios solares e maior exposição aos ventos úmidos vindos do mar, além da deposição de orvalho durante um período mais longo, em consequência da maior duração do período de

sombreamento, o que lhe confere maior umidade e registro de temperaturas mais baixas do que nas encostas orientadas para o norte (OLIVEIRA et al. 1995). Estas diferenças são responsáveis, inclusive, pela existência de uma diversidade de espécies florísticas entre as encostas sul e norte, gerando dois domínios ecológicos distintos, onde apenas 20% das espécies são comuns às duas encostas (OLIVEIRA et al. 1992).

Assim, a histórica intervenção antrópica e a orientação das encostas são alguns fatores que influenciam na diferenciação da cobertura florestal, determinando distintas manifestações florísticas e diferenciação das condições da cobertura vegetal. Atualmente, o Maciço da Tijuca é coberto, predominantemente, por Floresta Ombrófila Densa Secundária em avançado estado de regeneração, no entanto, apresentando características heterogêneas em todo maciço, com manchas de mata que apresentam vegetação bem conservada e outras áreas em estágio menos avançado de reconstituição, possuindo composição florística que difere daquelas mais conservadas (MMA, 2008)

## **Material e Métodos**

A resposta espectral da vegetação comporta-se de modo diferenciado, de acordo com a quantidade de umidade nas folhas. No estágio de estresse hídrico, os fatores de reflectância da vegetação se apresentam mais elevados (JENSEN, 2009). A fim de amenizar os efeitos da umidade nos alvos terrestres dos dados orbitais e, assim, facilitar a identificação da diferenciação da cobertura vegetal em relação ao estresse hídrico das plantas, procurou-se por uma imagem obtida em data referente ao período de estiagem na cidade do Rio de Janeiro. Foi selecionada, assim, cena do satélite LANDSAT 8, disponibilizada pelo da U.S. Geological Survey (USGS), do mês de setembro de 2013, correspondendo ao final do período de estiagem.

Entre as inovações do LANDSAT 8/OLI, lançado em abril de 2013, estão a (a) resolução radiométrica de 16 bits, acarretando na maior precisão da radiação registrada, (b) a redução no intervalo da faixa espectral das bandas, com destaque para a banda do infravermelho próximo, que

diminuiu 0,11 micrômetros, passando a apresentar intervalo de 0,845 a 0,885, e (c) a inclusão da banda 1 denominada como ultra-azul (Tabela 1).

Nome	LANDSAT 7/ ETM		LANDSAT 8/OLI	
	Nº	Faixa (µm)	Nº	Faixa (µm)
Ultra-azul	-	-	1	0,43 - 0,45
Azul	1	0,450 - 0,515	2	0,450 - 0,515
Verde	2	0,520 - 0,605	3	0,525 - 0,600
Vermelho	3	0,630 - 0,690	4	0,630 - 0,680
Infravermelho próximo	4	0,760 - 0,900	5	0,845 - 0,885
Infravermelho de ondas curtas	6	1,550 - 1,750	6	1,560 - 1,660
Infravermelho de ondas curtas	7	2,090 - 2,350	7	2,100 - 2,300

**Tabela 1.** Faixas espectrais do LANDSAT 8/OLI.

A seguir, foi realizada a conversão dos números digitais (ND) para valores de radiância das bandas 4 e 5, respectivamente, faixas do vermelho e infravermelho próximo. Esse procedimento é indicado quando da realização de operações entre bandas, pois os ND das bandas espectrais apresentam escala radiométrica diferente, mesmo que obtidas pelo mesmo sensor na mesma passagem do satélite, posto que cada banda apresenta parâmetros próprios para converter os valores da radiância medida em ND (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Ainda de acordo com os mesmos autores, é recomendado, desta forma, que o cálculo de índices de vegetação seja feito a partir das imagens em valores físicos como radiância ou reflectância de superfície para a obtenção de resultados fidedignos derivados de operações entre bandas. No entanto, os índices de vegetação calculados por radiância não podem ser comparados aos disponíveis na literatura, neste caso devem ser utilizados os índices derivados da reflectância.

A conversão para a radiância das bandas do LANDSAT 8 foi feita com base na equação de calibração (Equação 1), e aplicados os valores de radiância mínima e máxima das bandas espectrais disponíveis no arquivo de metadados que acompanha a cena (USGS, 2014).

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$  = radiância espectral do topo da atmosfera em Watts/(m<sup>2</sup> \* srad \* μm);

ML = fator multiplicativo de reescalonamento da banda específica (metadados da cena);

AL = fator aditivo de reescalonamento da banda específica (metadados da cena);

$Q_{cal}$  = número digital padrão quantizado e calibrado em ND.

A etapa a seguir consistiu no cálculo dos índices de vegetação Razão Simples (RS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) das bandas com radiância e das bandas com ND, com objetivo de avaliar a diferença entre os índices de vegetação calculados pelos dois conjuntos de valores, resultando, assim, na geração de quatro imagens-índices.

O índice de vegetação RS foi obtido através da razão entre o valor radiância da região do infravermelho próximo e o valor de radiância correspondente à região do vermelho. No caso de áreas densamente vegetadas, essa razão pode aumentar indefinidamente, em função dos valores baixos de radiação eletromagnética refletida referente à região do vermelho (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

O IVDN representa a normalização da razão simples e, por este motivo, varia de -1 a +1. Os resultados próximos a 1 representam áreas com maior quantidade de vegetação fotossintetizante ativa, enquanto os resultados próximos a -1 geralmente representam regiões menos florestadas ou com vegetação menos densa. É um índice utilizado para monitoramento da vegetação, além de ser explorado em estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A opção por utilizar RS e IVDN, em detrimento da escolha de outros entre um conjunto abrangente de índices disponíveis, teve como objetivo avaliar índices derivados de razão normalizada e não-normalizada, pois, de acordo com Jensen (2009), o RS é mais sensível a alvos de maior biomassa, possuindo intervalo mais largo por ser a razão simples entre bandas. Enquanto o IVDN, por ser uma

razão normalizada, apresenta um estreito intervalo para esses alvos provocando a saturação do índice nos valores elevados, o que dificulta a distinção das fisionomias em formações vegetais densas, principalmente, nas florestas tropicais.

A seguir, as imagens dos índices de vegetação foram classificadas de modo heurístico, testando iterativa e interativamente os limiares dos intervalos, objetivando a discriminação adequada das classes de vegetação e não-vegetação, o que originou em uma imagem classificada das classes de cobertura da terra possíveis de serem discriminadas nas imagens-índice.

Por fim, as bacias hidrográficas do Maciço da Tijuca foram classificadas em sul, norte e oeste, de acordo com a direção do eixo da drenagem principal, e sobrepostas às imagens-índice de vegetação para o cálculo de medidas estatísticas, objetivando verificar o comportamento dos índices de vegetação em função da orientação da bacia.

## **Resultados**

Comparando os resultados entre as imagens-índice, verifica-se que os índices de vegetação calculados por radiância apresentaram maior amplitude do que os calculados por números digitais. O intervalo do IVDN por números digitais situou-se entre -0,22 a 0,25 (Figura 2), e o índice RS entre 0,64 e 1,65 (Figura 3), enquanto os valores IVDN por radiância variaram entre -0,47 e 0,39. (Figura 4), e os valores do RS entre 0,36 e 2,31 (Figura 5). No entanto, apesar de mais elevados, apresentaram resultados abaixo do que esperado, principalmente, os valores referentes à vegetação densa, possivelmente, em decorrência de serem sido calculados por radiância e no período de estiagem.

Uma das diferenças entre as imagens derivadas dos números digitais e da radiância é a discriminação entre a cobertura vegetal e os corpos d'água. Nas primeiras, os índices desses dois alvos apresentam valores elevados e próximos ( $RS > 1,1$  e  $IVDN > 0,05$ ), o que não permite a discriminação entre eles. Enquanto, nas imagens da radiância, os valores do índice da classe vegetação são os mais

elevados ( $RS > 0,9$  e  $IVDN > -0,05$ ) e os dos corpos d'água são os mais baixos ( $RS < 0,6$  e  $IVDN < -0,25$ ), possibilitando a discriminação entre esses alvos.

Também é possível, na imagem derivada da radiância, a discriminação entre a vegetação herbácea, com índices mais baixos ( $0,9 < RS < 1,15$  e  $-0,05 < IVDN < 0,07$ ), e a cobertura florestal, que apresenta índices mais elevados ( $RS > 1,15$  e  $IVDN > 0,07$ ). A vegetação herbácea, constituída predominantemente por gramíneas do gênero capim colônia, predomina nas encostas norte que fazem limite com os bairros da zona norte da cidade (Figura 1).

A discriminação entre os estágios sucessionais da cobertura florestal localizada nas encostas do Maciço da Tijuca não é possível, tampouco a diversidade de espécies florísticas entre as encostas sul e norte, devido à influência da iluminação solar na resposta espectral durante a obtenção da cena, fazendo com que os índices de vegetação calculados expressassem a diferença da incidência solar entre as encostas. Como a área de estudo está localizada próxima ao Trópico de Capricórnio e a cena foi obtida às 9h54min (elevação solar 49o e azimute solar 45o), as encostas orientadas para leste e norte estavam diretamente iluminadas e, assim, recebiam maior incidência solar no momento da obtenção da imagem do que as encostas orientadas para oeste e sul que se apresentavam sombreadas.

Assim, nas vertentes cobertas por floresta e orientadas para leste e norte, os índices são mais elevados ( $1,5 < RS < 2,3$  e  $0,2 < IVDN < 0,4$ ) do que os índices da cobertura florestal localizada nas encostas oeste e sul ( $1,15 < RS < 1,5$  e  $0,07 < IVDN < 0,2$ ). Enquanto, as encostas totalmente sombreadas e com presença de outras classes de cobertura da terra, como afloramentos rochosos, área urbana e cicatriz de queimada, o índice de vegetação variou entre valores referentes à classe urbana e à vegetação herbácea ( $0,6 < RS < 1,15$  e  $-0,25 < IVDN < 0,07$ ).

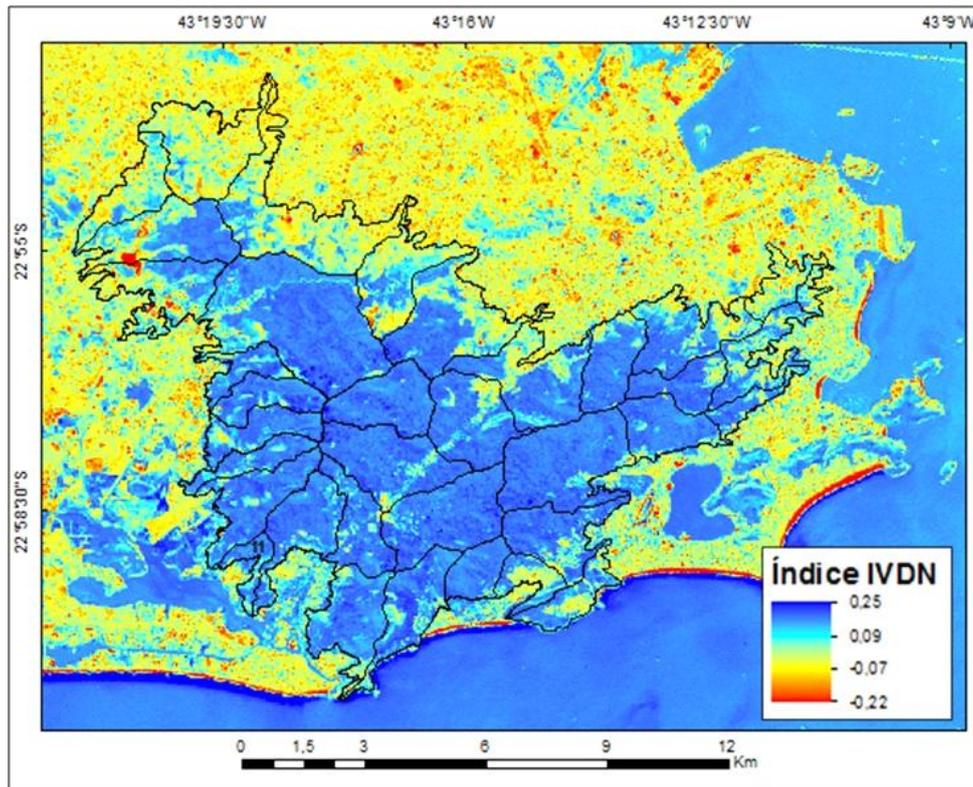


Figura 2. IVDN calculado por números digitais, Maciço da Tijuca, RJ.

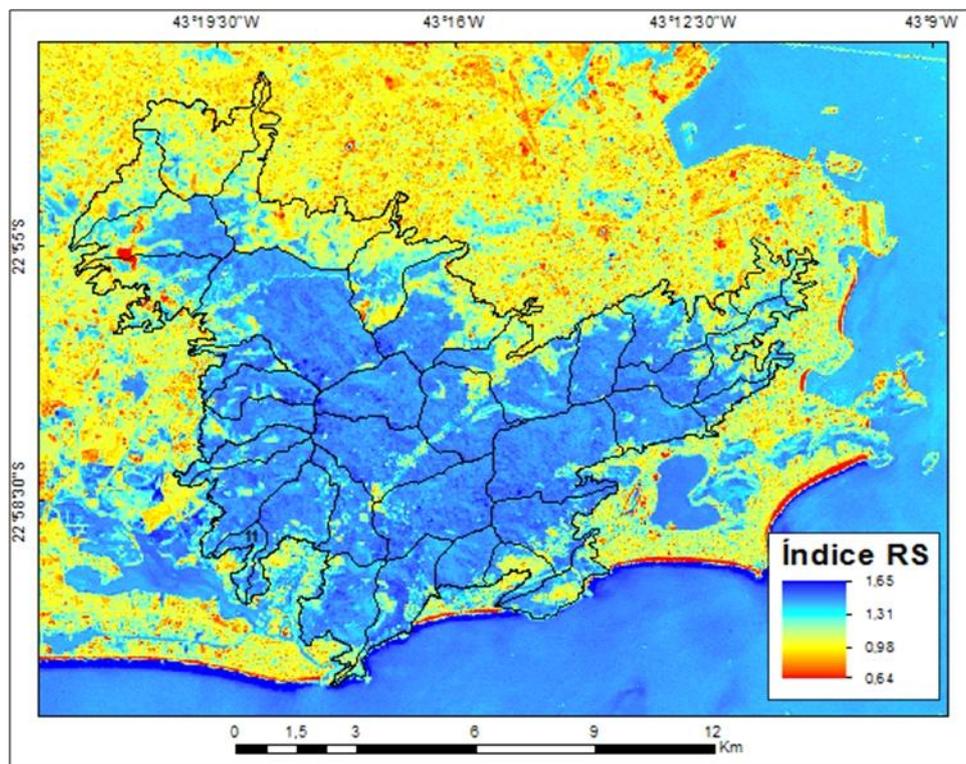


Figura 3. Índice RS calculado por números digitais, Maciço da Tijuca, RJ.

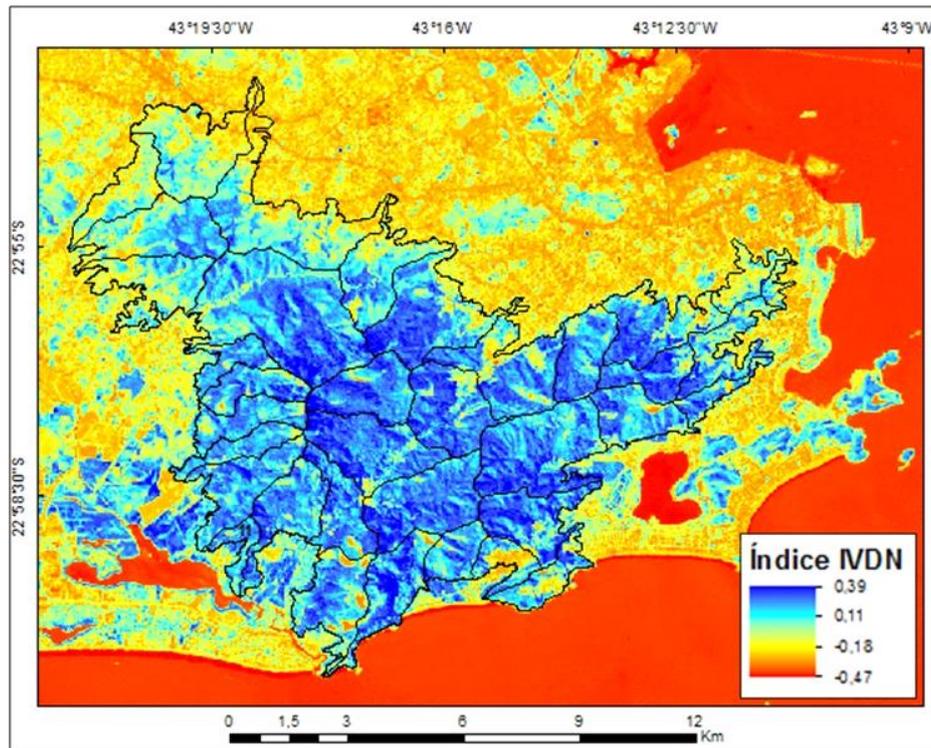


Figura 4. IVDN calculado por radiância, Maciço da Tijuca, RJ.

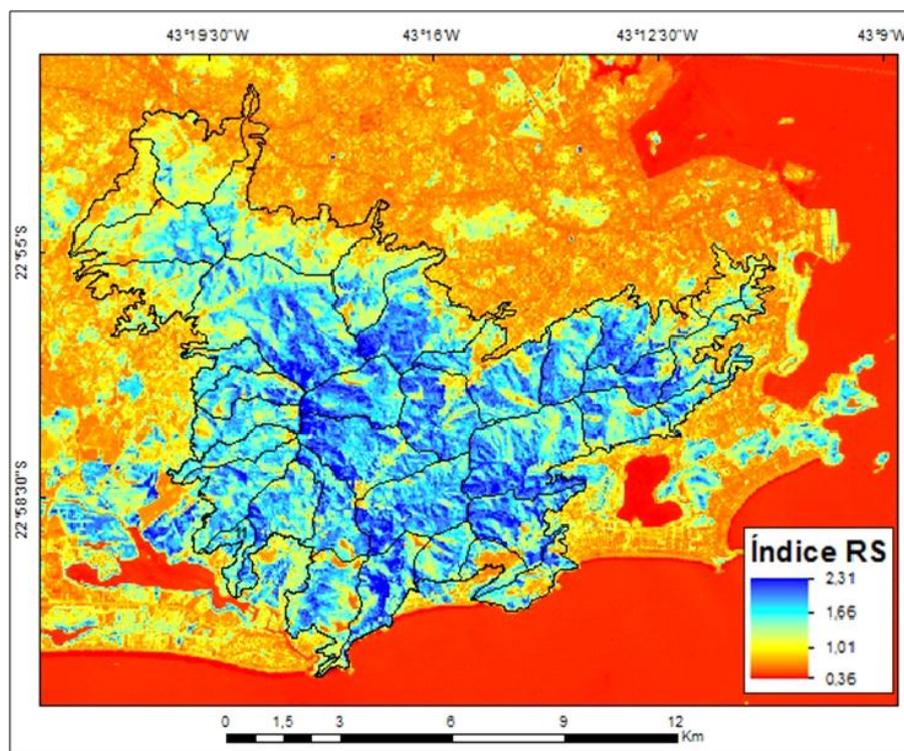
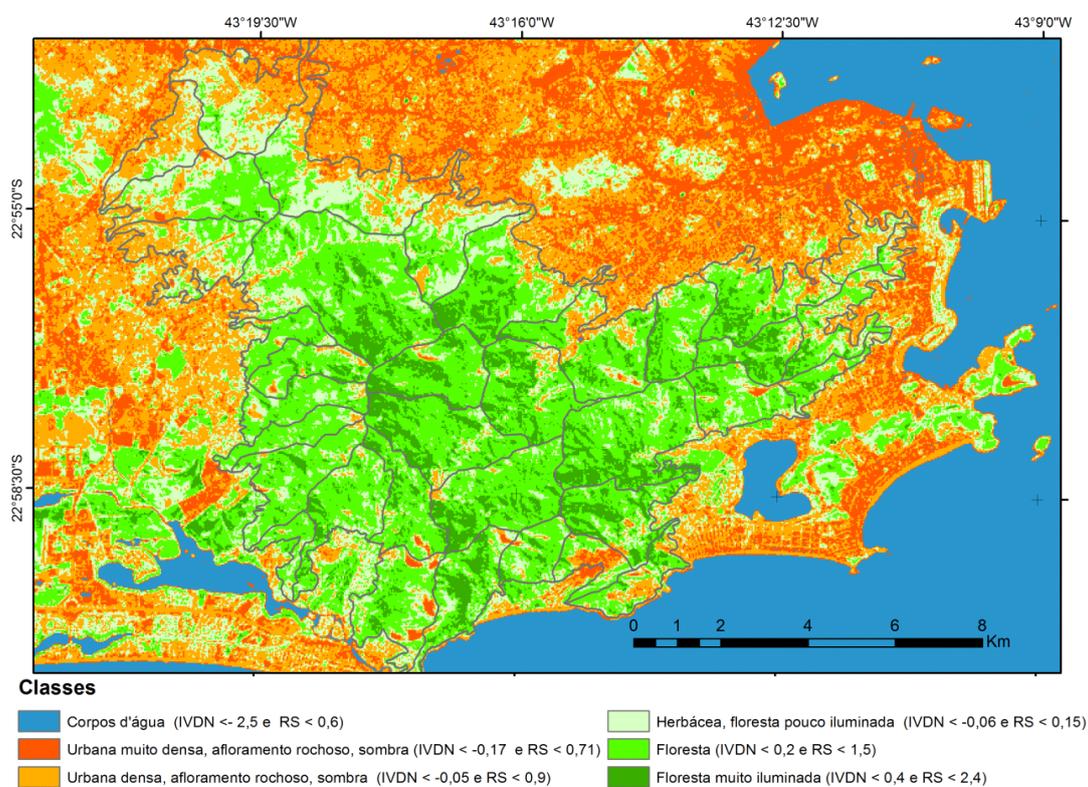


Figura 5. Índice RS calculado por radiância, Maciço da Tijuca, RJ.

A Figura 6 apresenta a classificação dos valores de índices de vegetação testados e discutidos nos parágrafos acima. Como pode ser analisado, há muita mistura entre as classes, apenas os corpos d'água foram quase que totalmente separados das outras classes. A área urbana e vegetação herbácea confundiram-se com os afloramentos rochosos e sombra. As florestas se confundiram com a vegetação herbácea quando situadas nas vertentes oeste e sul, ou seja, em áreas de sombra, enquanto as florestas mais iluminadas, situadas nas encostas direcionadas para norte ou leste, não apresentaram confusão com as demais classes.



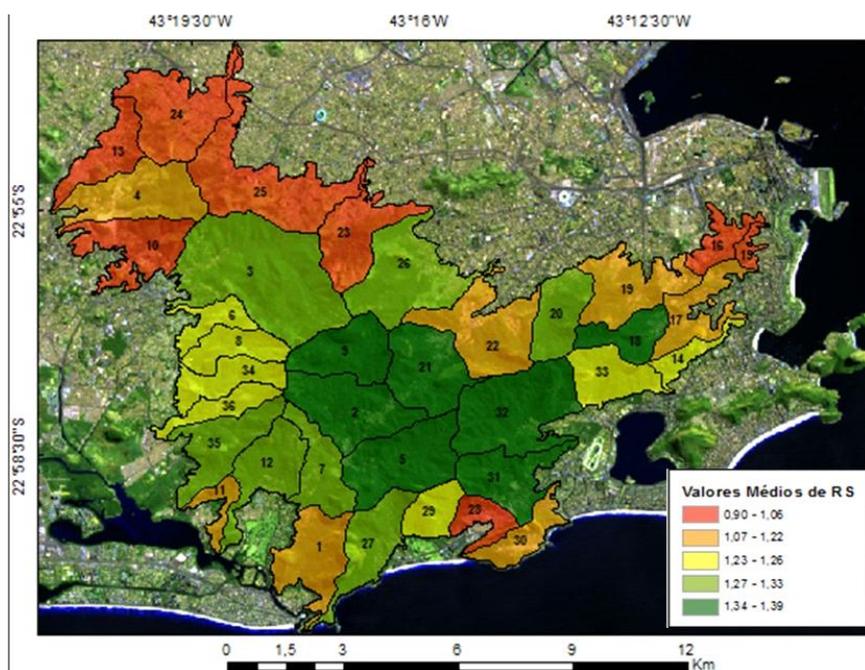
**Figura 6.** Classificação de cobertura da terra de acordo com índices de vegetação calculados por radiância, Maciço da Tijuca, RJ.

A classificação dos índices de vegetação foi corroborada pelas medidas estatísticas das bacias agrupadas de acordo com a direção eixo principal da drenagem. A média dos índices das bacias classificadas como norte apresentou menor valor, as de oeste valores intermediários e as de sul apresentaram valores maiores em ambos índices de vegetação testados (Tabela 2).

Por fim, apesar dos índices de vegetação apresentarem baixa eficiência na discriminação das classes de vegetação, a classificação das bacias hidrográficas em cinco classes demonstra que as bacias norte, com presença de área urbana e vegetação herbácea nas encostas, apresentaram índices menores, enquanto as bacias localizadas ao sul e leste, com presença predominante de vegetação densa, apresentaram índices intermediários e, por fim, aquelas localizadas no interior do maciço, predominantemente cobertas por vegetação densa, apresentaram um índice mais elevado (Figura 7).

IVDN						
BACIA	Nº. BACIAS	MÍNIMO	MÁXIMO	INTERVALO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
Norte	10	-0,35	0,4	0,75	0,05	0,1
Oeste	10	-0,25	0,39	0,64	0,07	0,08
Sul	16	-0,25	0,39	0,64	0,1	0,09
RS						
Norte	10	0,48	2,31	1,83	1,15	0,22
Oeste	10	0,6	2,28	1,68	1,19	0,19
Sul	16	0,61	2,29	1,68	1,24	0,22

**Tabela 2:** Medidas estatísticas dos índices de vegetação das bacias hidrográficas do Maciço da Tijuca, RJ.



**Figura 7.** Classificação das bacias hidrográficas de acordo com o índice RS, Maciço da Tijuca, RJ.

## Conclusões

Os resultados demonstraram que os índices de vegetação, quando calculados por radiância, apresentaram eficiência na discriminação entre os alvos vegetação e a não-vegetação, enquanto, quando calculados por ND, não foram capazes de discriminar essas duas classes, com destaque para mistura entre a vegetação e os corpos d'água nas imagens derivadas dos índices calculados pelo ND.

As análises efetuadas demonstraram também que não há diferença na eficiência da discriminação das classes de cobertura da terra entre o IVDN e RS quando calculados por radiância, ou seja, os resultados da classificação dos dois índices de vegetação são semelhantes na discriminação das classes e na confusão entre elas.

Os índices de vegetação calculados por radiância apresentaram elevada eficiência na separação dos corpos d'água e na discriminação das classes de vegetação e da não-vegetação. Na classe não-vegetação, não foi possível discriminar a área urbana, da sombra e dos afloramentos rochosos, no entanto foi possível classificar a classe urbana em duas outras de acordo com a densidade de ocupação. Na classe vegetação, não foi possível discriminá-la de acordo com a sua fisionomia, pois foi notada a influência da iluminação solar nos valores dos índices de vegetação: vegetação herbácea misturou-se com a floresta menos iluminada presentes nas encostas oeste e sul; no entanto as florestas mais iluminadas, localizadas nas encostas leste e norte, apresentaram os maiores índices e não foram misturadas a outras classes de vegetação e não-vegetação.

Concluindo-se, assim, que os índices de vegetação calculados por radiância não foram eficientes na minimização do efeito da topografia na discriminação da fisionomia da vegetação. Por outro lado, no entanto, a classificação das bacias hidrográficas de acordo com a média dos índices de vegetação mostrou-se eficiente na definição do grau de proteção. As bacias com menor grau de alteração antrópica, protegidas por estarem localizadas no interior do Maciço da Tijuca, apresentaram maiores índices de vegetação do que aquelas mais antropizadas, principalmente, aquelas localizadas nas bordas norte no maciço em contato direto com a área urbana.

## Referenciais Bibliográficas

ABREU, M.A. A Cidade, A Montanha e A Floresta. In: Abreu, M.A. coord. Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes, 1992. p.54-103.

ALBUQUERQUE, C.K.; CRUZ, C.B.M.; BARROS, R.S. Sensibilidades de índices de vegetação para classificação do estado de conservação da cobertura florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011. Curitiba, Brasil. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1652-1659.

JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. 2 ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 672 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo do Parque Nacional da Tijuca. vol. 1. Brasília, 2008. 298 p.

OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; LIMA, D. F.; SILVA, M. B. R.; VIANNA, M. C.; SODRÉ, D. O.; SAMPAIO, P. D. Significado Ecológico da Orientação de Encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. In: ESTEVES, F. A. Oecologia Brasiliensis I: Ecologia, Funcionamento e manejo de Ecossistemas, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, p. 523-541, 1995.

OLIVEIRA, R.R. Aspectos Ecológicos. In: CRUZ, P.O. A Floresta da Tijuca e a Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1992. 169p. p.141-51.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, v. 1, n. 1-2, p. 1-9, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Ed. Parênteses, 2010.

RIÑANO, D.; CHUVIECO, E.; SALAS, J.; AGUADO, I. Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, n. 5, p. 1056-1061, 2003.

RODRIGUES, L. A.; CARVALHO, D.A.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; CURI, N. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Luminárias, MG. *Revista Árvore*, v.31, n.1, p.25-35, 2007.

USGS. U.S. Geological Survey Landsat Missions. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/> Acesso em: 15 jan. 2014.