

Efeitos da Geometria de Visada sobre a Determinação de Índices de Vegetação

LÊNIO SOARES GALVÃO
FLÁVIO JORGE PONZONI
JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO
ANTÔNIO ROBERTO FORMAGGIO

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@ltid.inpe.br, flavio@ltid.inpe.br, epiphani@ltid.inpe.br, formag@ltid.inpe.br

Abstract The effects of viewing geometry on the determination of the normalized difference vegetation index (NDVI) were evaluated from Hymap (Hyperspectral Mapper) data collected in the Amazon region (State of Acre). Radiance values extracted from pixels of the Hymap images were used in the analysis of the off-nadir view and associated atmospheric influence on the red and near infrared bands used in the NDVI calculation. The continuum removal method was used to produce images showing variations in the depth of the main atmospheric absorption bands due to water vapor. The results show that an increase in the red (atmospheric scattering) and a decrease in the near infrared (atmospheric absorption) radiance values produces NDVI differences higher than 0,2 for Primary Forest, when one moves from the center (close to nadir view) to the lower portion (extreme off-nadir view) of the scene.

Keywords: Viewing geometry, NDVI, Hyperspectral remote sensing, Hymap.

1 Introdução

Um dos fatores naturais que limitam o uso de dados de sensoriamento remoto obtidos na faixa óptica para o monitoramento de regiões tropicais é a intensa cobertura de nuvens, como ocorre, por exemplo, na região amazônica. Nesse contexto, a utilização de instrumentos que adquiram dados com visada fora do nadir pode ser vantajosa. Esses instrumentos podem aumentar a frequência de observação da cena e oferecer melhores possibilidades de obtenção de imagens com pouca cobertura de nuvens.

O problema inerente ao imageamento fora do nadir, ou do uso de sensores com campo de visada amplo, refere-se ao fato de que a maior parte das superfícies naturais não é Lambertiana, ou seja, as suas propriedades espectrais variam com a geometria de iluminação e de visada da cena (Kimes et al., 1984; Epiphanyo e Huete, 1995; Huete et al., 1992). Portanto, essas superfícies não refletem a radiação incidente igualmente em todas as direções. Em geral, o aumento do ângulo zenital solar e de visada do sensor intensifica os efeitos espectrais decorrentes da anisotropia dos alvos e da influência atmosférica. De acordo com Gutman (1987) e Roujean e Breon (1995), a variação no ângulo de visada é a principal fonte de perturbação na análise dos dados de sensores com campo de visada amplo, como o AVHRR, podendo provocar erros substanciais na estimativa dos parâmetros da vegetação (p. ex., erro superior a 0,2 para a relação entre NDVI e f_{APAR}). Segundo Goward e Huemmrich (1992), os erros introduzidos pelas variações do ângulo zenital solar seriam comparativamente menores (da ordem de $0,05f_{APAR}$).

Para reduzir a influência desses efeitos sobre o cálculo dos índices de vegetação, alguns autores propuseram a restrição da faixa útil de dados do AVHRR para ângulos de visada de ± 14 graus (Duggin et al., 1982) ou ± 25 graus (Gutman, 1991) em relação ao nadir.

Em abril do ano 2000, o sensor hiperespectral HYMAP (*Hyperspectral Mapper*) obteve imagens na região amazônica com campo de visada (*Field of View*) de 62° . O experimento fez parte da fase A/B do Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR 1) planejado para um futuro próximo. O SSR deverá ser um satélite de órbita equatorial com um tempo de revisita de cerca inferior a duas horas e um campo de visada total de cerca de 88° , que propiciará uma faixa de imageamento de 2200 km (N 5° a S 15°) (Carvalho et al., 1997).

Para avaliar os efeitos da geometria de visada sobre o comportamento espectral da cena, em uma das linhas de voo, as imagens foram adquiridas com um ângulo de visada do sensor de 30° . O objetivo deste trabalho é discutir o impacto da visada fora do nadir sobre a determinação do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), o índice mais frequentemente utilizado para monitoramento da vegetação em escala global.

2 Metodologia

A área de estudo está localizada entre as latitudes S $9^\circ54'$ - $9^\circ57'$ e longitudes W $67^\circ00'$ - $67^\circ26'$, a nordeste da cidade de Rio Branco, no Estado do Acre. Ela foi selecionada para a missão Hymap em função de atividades de pesquisa previamente desenvolvidas por pesquisadores da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/DSR), que resultaram em um bom conhecimento de campo da distribuição espacial dos principais componentes de cena.

O Hymap (“Hyperspectral Mapper”) é um sensor hiperespectral desenvolvido na Austrália que opera em 126 bandas (10-20 nm de largura) na faixa de 450 a 2500 nm. O instrumento é constituído por um sistema óptico-mecânico com diferentes módulos de arranjo de detetores. O módulo da região espectral do visível inclui um arranjo de detetores de Si que opera em temperatura ambiente, enquanto os três módulos restantes do infravermelho são compostos por arranjos de InSb operando em temperatura de 77°K sob a ação de nitrogênio líquido. A relação sinal/ruído é superior a 500. O campo de visada do sensor é de 62° e a resolução espacial normalmente utilizada na aquisição de dados é de 10 metros (aeronave a 4 km de altitude). Uma descrição detalhada das especificações técnicas do Hymap, dos procedimentos envolvidos em sua calibração e do desempenho do sistema sensor como um todo pode ser vista em Cocks et al. (1998). O uso de uma plataforma giro-estabilizada Zeiss Jena SM2000 forneceu correções de $\pm 5^\circ$ do “pitch” (arfagem) e “roll” (rolamento) e de $\pm 8^\circ$ do “yaw” (deriva). O uso de um GPS diferencial de alta qualidade integrado a um sistema Boeing C-MIGITS GPS/INT forneceu uma georretificação dos dados com uma precisão de 2 a 4 pixels.

Para avaliar os efeitos da geometria de visada sobre o cálculo de índices de vegetação, foi utilizada uma imagem radiância não-corrigida para os efeitos atmosféricos, a qual foi obtida com ângulo de visada de 30° e ângulo zenital solar de 45° . Perfis espectrais foram estabelecidos do centro (condições mais próximas do nadir) para a borda inferior da imagem (ângulo de visada extremo), em direções perpendiculares à linha de voo, em porções da cena compostas por alvos relativamente homogêneos (p. ex., Floresta Primária). As variações de radiância nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo, em função dos efeitos conjugados da geometria de visada e do espalhamento e absorção atmosférica, foram analisadas para as diferentes bandas do sensor Hymap.

Um dos produtos de sensoriamento remoto frequentemente utilizados no monitoramento global da vegetação é a imagem “Índice de Vegetação”. Na presente investigação, calculou-se o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI de Rouse et al., 1973), através da seguinte equação: $NDVI = (IVP - V)/(IVP + V)$, onde IVP e V são, respectivamente, valores de radiância de bandas do infravermelho próximo (894 nm) e do vermelho (665 nm). De forma similar à anteriormente discutida, foram estabelecidos perfis para avaliar as variações do NDVI em função da geometria de visada ou dos efeitos aditivos do espalhamento atmosférico sobre a banda do vermelho, e subtrativos sobre a banda do IVP.

Finalmente, o método do contínuo espectral (Clark e Roush, 1984) foi aplicado sobre os dados hiperespectrais. O objetivo foi obter imagens mostrando as variações da profundidade das bandas de absorção de vapor d’água da atmosfera, pixel-a-pixel, introduzidas com o aumento da trajetória óptica da radiação captada pelo sensor, ou seja, com a visada fora do nadir. Nessa nova imagem, quanto mais claros forem os pixels, maior será a profundidade da banda de absorção sob análise. Em outras palavras, na presente investigação, maior tenderá a ser a quantidade de vapor d’água detectada pelo sensor com visada lateral.

3 Resultados e Discussão

Para ilustrar os efeitos da geometria de visada sobre o comportamento espectral da cena, a **Figura 1** apresenta uma composição colorida de uma porção da área de estudo obtida pelo sensor Hymap com um ângulo de visada de 30°. Nesta Figura, a contribuição aditiva do espalhamento atmosférico é facilmente visualizada do centro para a borda inferior da imagem, que se torna mais clara ou azulada, em função do aumento na trajetória óptica da radiação, resultante da visada lateral.

O efeito do incremento da absorção da energia radiante pelo vapor d’água atmosférico devido a visada lateral pode ser visto na **Figura 2**. Na **Figura 2a**, ilustra-se a imagem “profundidade” da banda de absorção do vapor d’água posicionada em 820 nm, obtida através do uso do método do contínuo espectral. Nessa Figura 2a, quanto mais claros forem os pixels, maior será a profundidade da banda de absorção em 820 nm e maior será a quantidade de vapor d’água detectada pelo sensor. Para facilitar a discussão, os resultados são mostrados apenas para uma pequena porção da imagem da **Figura 1**, ao redor do transecto A-B. Na **Figura 2b**, os resultados da classificação por fatiamento da imagem da **Figura 2a** são mostrados.

Conforme visto na **Figura 2**, a profundidade da banda de absorção de vapor d’água em 820 nm aumenta do centro (condições mais próximas do nadir) para a borda inferior (visada extrema dos pixels) da imagem, ou de A para B no transecto. Em outras palavras, a quantidade de vapor d’água, detectada indiretamente pelo sensor, aumenta em função do aumento da trajetória óptica da radiação. Essa trajetória é maior na porção extrema da imagem por causa da visada lateral do sensor.

O impacto da visada lateral sobre a determinação do NDVI, o índice de vegetação mais frequentemente utilizado para monitoramento da vegetação, é mostrado na **Figura 3**. Na **Figura 3**, a diminuição sistemática dos valores de NDVI do centro para a borda inferior da imagem está associada ao ângulo de visada de 30° do sensor. A visada lateral provoca um aumento da radiância no vermelho (espalhamento atmosférico) e uma diminuição no infravermelho (absorção atmosférica) e, conseqüentemente, um substancial decréscimo nos valores de NDVI em resposta ao aumento do percurso óptico da radiação.

A magnitude desse efeito sobre o cálculo do NDVI pode também ser visualizada na **Figura 4**. Conforme observado na **Figura 1**, o transecto A-B está posicionado sobre um componente de cena relativamente homogêneo: a Floresta Primária. Na **Figura 4**, os valores de NDVI variam de aproximadamente 0,8 (centro da imagem) até 0,6 (borda inferior) em função da visada lateral e dos efeitos atmosféricos associados com a mesma.

4 Conclusões

Os efeitos da visada fora do nadir produzem diferenças significativas no cálculo do NDVI feito a partir de dados hiperespectrais coletados na Amazônia pelo sensor Hymap. Para a floresta primária, os valores de NDVI obtidos a partir de bandas estreitas podem variar em média de 0,8 (centro da imagem ou condições mais próximas do nadir) até 0,6 (borda inferior da imagem ou visada extrema).

O aumento da trajetória óptica da radiação, em resposta à visada lateral, resulta em um aumento da radiância no vermelho e em uma diminuição no infravermelho próximo. O primeiro fato é devido à contribuição aditiva do espalhamento atmosférico, enquanto o último é resultante da contribuição subtrativa da absorção atmosférica, especialmente do vapor d'água. O resultado final é uma diminuição dos valores de NDVI para os pixels de um mesmo alvo vistos sob condições de visada extrema. Como diversas variáveis biofísicas são derivadas dos índices de vegetação, especialmente do NDVI, esses efeitos de radiância de trajetória precisam ser levados em conta, particularmente sobre zonas tropicais com atmosfera com alto teor de umidade. Esses efeitos estarão presentes nas imagens geradas pelo futuro satélite SSR, com campo de visada previsto de 88° , especialmente para áreas situadas próximas à latitude S 15° .

Agradecimentos

À Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE) do INPE, especialmente aos Drs. Carlos Santana, Jânio Kono, Himilcon Carvalho e Eduardo Quintino, pela viabilização da missão Hymap e pelo fornecimento de informações relativas ao SSR. Aos colegas da DSR que contribuíram de forma direta ou indireta para a execução da missão.

Referências

- Carvalho, H.; Santana, C.E.; Kono, J. A brazilian satellite to observe and monitor the Amazon region. *Nouvelle Revue Aeronautique Astronautique* (6):56-60, 1997.
- Clark, R. N.; Roush, T. L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research*, **89**, 6329-6340, 1984.
- Cocks, T.; Jenssen, R.; Stewart, A.; Wilson, I.; Shields, T. The HymapTM airborne hyperspectral sensor: the system, calibration and performance. In: First EARSEL workshop on Imaging Spectroscopy, **Proceedings**, Zurich, October 1998.
- Duggin, J.J.; Piwiski, D.; Whitehead, V.; Ryland, G. Evaluation of NOAA-AVHRR data for crop assessment. *Applied Optics*, **21**:1873-1875, 1982.
- Epiphanyo, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on Sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in Alfalfa. *Remote Sensing of Environment* **51**:351-360, 1995.

- Goward, S.N.; Huemmrich, K.F. Vegetation canopy PAR absorptance and the normalized difference vegetation index: an assessment using the SAIL model. *Remote Sensing of Environment* **39**:119-140, 1992.
- Gutman, G.G. The derivation of vegetation indices from AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* **8**:1235-1243, 1987.
- Gutman, G.G. Vegetation indices from AVHRR: an update and future prospects. *Remote Sensing of Environment* **35**:121-136, 1991.
- Huete, A.R.; Hua, G.; Qu, J.; Chebouni, A.; van Leeuwen, W.J.O.G. Normalization of multidirectional red and NIR reflectances with the SAVI. *Remote Sensing of Environment* **40**:1-20, 1992.
- Kimes, D.S.; Holben, B.N.; Tucker, C.J. Optimal directional view angles for remote sensing missions. *International Journal of Remote Sensing* **5**:887-908, 1984.
- Roujean, J.L; Breon, F.M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment* **51**:375-384, 1995.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

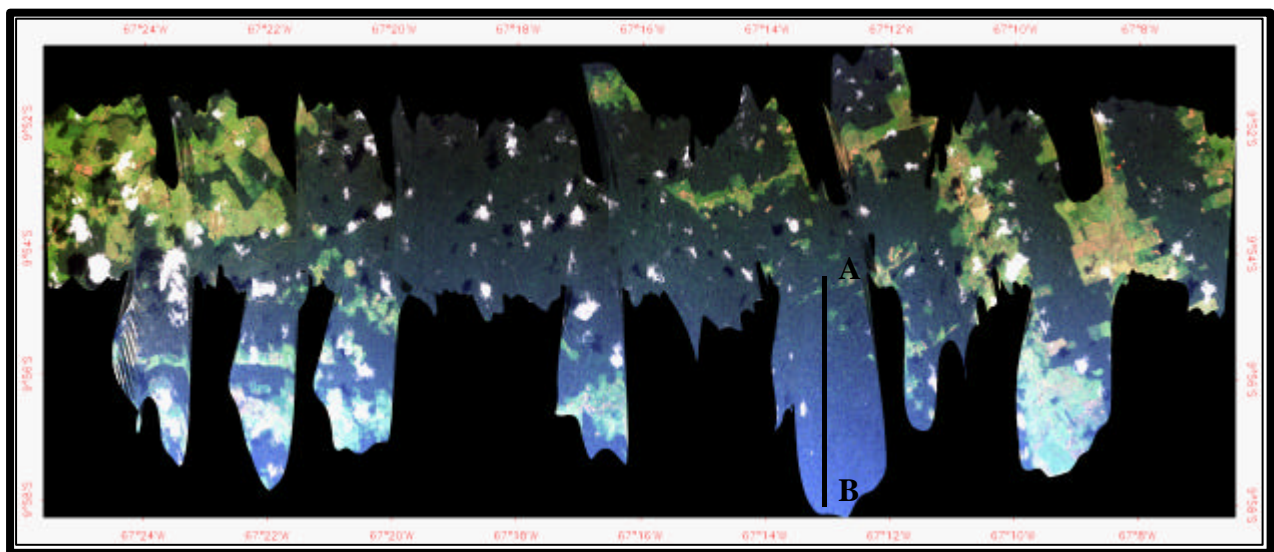


Figura 1 - Composição colorida normal obtida com as bandas 16 (665 nm), 9 (558 nm) e 2 (452 nm) do sensor Hymap, respectivamente, em vermelho, verde e azul. A geometria de visada é de 30° e o ângulo zenital solar de 45°. O transecto A-B, ao longo da floresta primária, é indicado para facilitar discussões no texto.

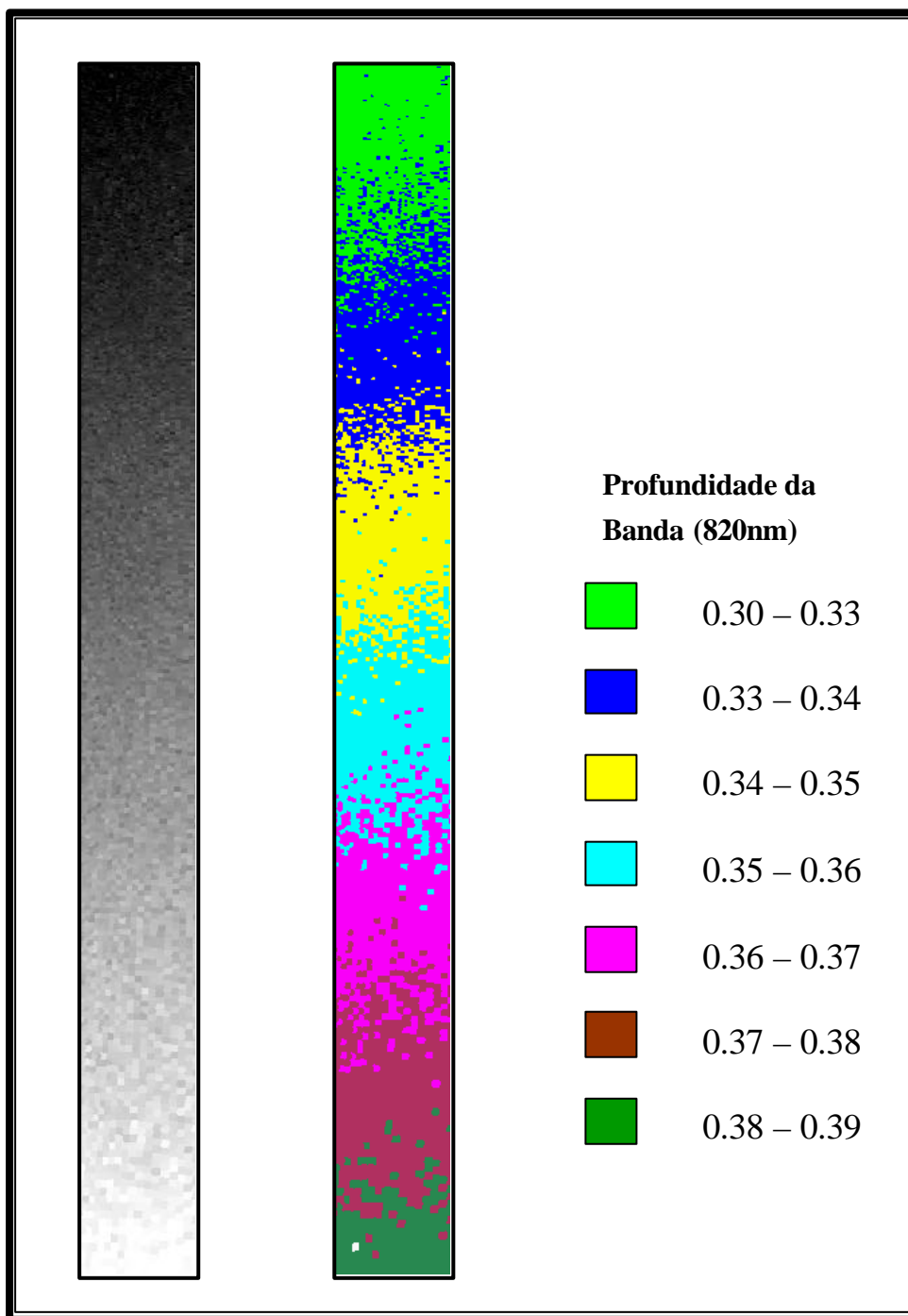


Figura 2 - A imagem profundidade da banda de absorção do vapor d'água atmosférico, posicionada em 820 nm, é mostrada em (a) para uma pequena porção da imagem da Figura 1, extraída ao redor do transecto A-B. Em (b), os resultados de um fatiamento da Figura 2a são mostrados.

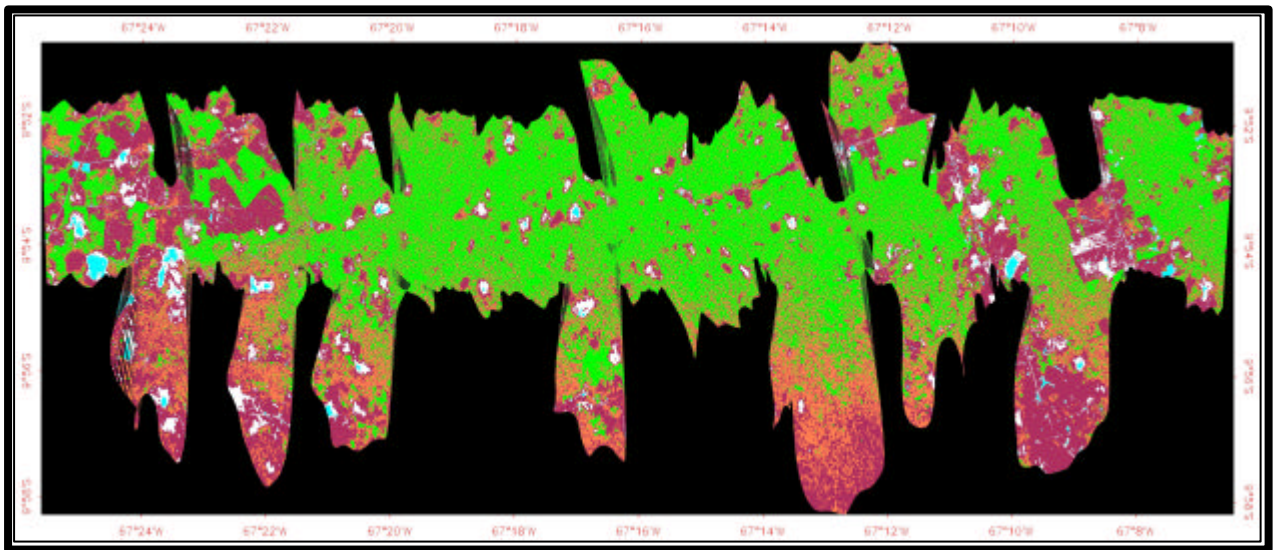


Figura 3 - Imagem NDVI obtida com as bandas do vermelho e infravermelho próximo do sensor Hymap posicionadas, respectivamente, em 665 e 894 nm.

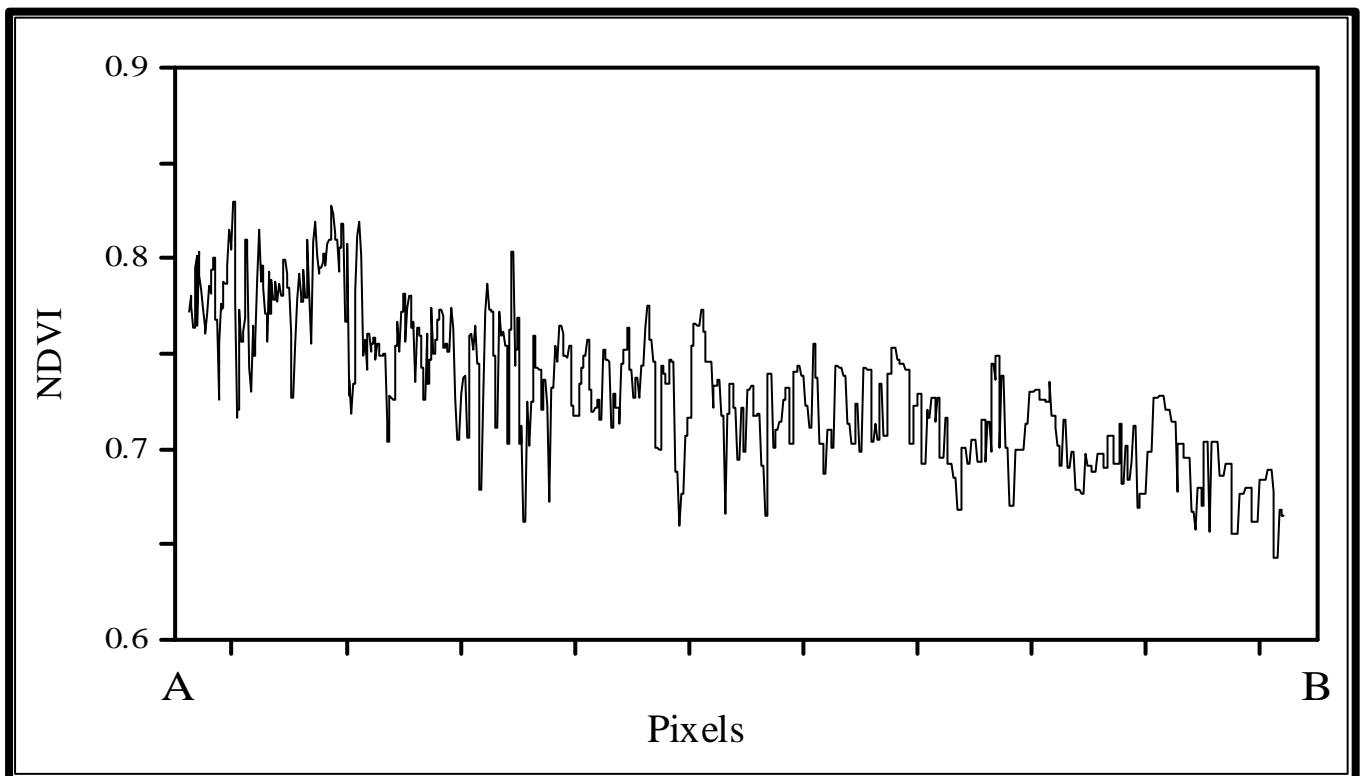


Figura 4 - Variações do NDVI na Floresta Primária, ao longo do transecto AB da Figura 1, em função da geometria de visada do sensor e dos efeitos atmosféricos associados.