

RADIOGRAFIA DAS PASTAGENS DO BRASIL

RELATÓRIO PARCIAL - 1

Filtragem de Séries-Temporais de Índices de Vegetação

Análise Preliminar

Goiânia, fevereiro de 2014

Introdução

Nesta etapa do trabalho foi feita uma revisão dos índices de vegetação existentes para definir o melhor índice para a geração dos parâmetros fenológicos das áreas de pastagem no Brasil. Também avaliou-se os parâmetros para a filtragem dos dados com o filtro Savitzky-Golay.

Dados Matriciais

Foram utilizadas imagens do sensor MODIS, produto MOD13Q1, das bandas do vermelho (RED), infravermelho próximo (NIR), Pixel Reliability e índice de vegetação realçado (EVI), sendo estas imagens disponibilizadas gratuitamente a cada 16-dias, na forma de *composites*, com resolução espacial de 250 m e resolução radiométrica de 16 bits. Os *composites* de 16-dias são gerados pela seleção da melhor observação de 64 observações diárias, sem nebulosidade e com menor ângulo de visada.

Para à análise temporal dos diferentes índices de vegetação (NDVI, EVI e EVI2) foi utilizado cinco amostras de pastagem, selecionadas com base em imagens Landsat 5 – TM, as quais foram utilizadas na extração dos valores para o período de 2001 a 2012. Das cinco amostras, escolheu-se uma amostra (Pastagem 5) para a aplicação do filtro Savitzky-Golay nos três índices de vegetação. As cinco amostras de pastagem não foram filtradas quanto à contaminação por nuvens e aerossóis.

Para à análise da regressão linear entre os índices de vegetação foram utilizadas 19 amostras, de um total de 50 amostras geradas aleatoriamente sobre áreas de pastagem, selecionando as amostras com menos de cinco observações ruins durante o ano de 2013. A relação entre os dados EVI originais e filtrados e a correlação de Pearson foi feita pela seleção de uma amostra das 19 para os anos de 2001 a 2012.

Fundamentação Teórica

O índice de vegetação realçado (EVI) foi desenvolvido por Huete et al. (2002) para ser um índice melhorado em relação ao índice de vegetação normalizado (NDVI). O NDVI apresenta comportamento diferente sobre variadas condições de solo e umidade, é sensível ao espalhamento pela atmosfera e satura em regiões com elevada biomassa e pode ser calculado pela razão normalizada entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED) conforme a equação 1.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação e aumentar a sensibilidade em regiões com alta biomassa, melhorar o monitoramento da vegetação pela separação do sinal de fundo e reduzir as influências atmosféricas. Este índice foi pensado para os dados do sensor MODIS, calculado conforme a equação 2, sendo que no algoritmo do MODIS os valores dos coeficientes são $G = 2,5$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7,5$ e $L = 1$.

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 RED + C_2 BLUE + L} \quad (2)$$

Onde:

NIR , RED e $BLUE$ = reflectâncias no infravermelho próximo, vermelho e azul corrigidas para efeitos de espalhamento Rayleigh e absorção de ozônio.

G = fator de ganho

C_1 e C_2 = coeficientes para o termo de resistente a aerossol

L = fator de ajuste ao solo

Para reduzir o sinal de fundo ou a influência do solo, o EVI utiliza o fator de ajuste do solo (L) modificado do proposto por Huete (1988) para o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), pois este considera os feedbacks entre a atmosfera e o solo. O fator de ajuste do solo é uma constante ou offset adicionado às bandas do infravermelho próximo e do vermelho para minimizar o sinal do solo. Em solos escuros, com baixa reflectância no intervalo do vermelho, os valores do NDVI são altos, respondendo de maneira semelhante a uma área densamente vegetada.

O fator de ajuste do solo baseia-se na definição de um ponto de convergência das isolinhas de vegetação (linhas com biomassa constante) com a linha do solo no espaço vermelho (X) e infravermelho (Y). Este ponto denominado de E , encontra-se deslocado da origem do gráfico no espaço vermelho e infravermelho na direção negativa. O SAVI, que utiliza-se do fator de ajuste do solo (L) é calculado conforme a equação 3.

$$SAVI = (1 + L) \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \quad (3)$$

O SAVI corrige para os ruídos de fundo provenientes do sinal do solo, mas satura em regiões de alta biomassa, apresentando os mesmos problemas do NDVI. Já o EVI melhora a linearidade com os parâmetros biofísicos da vegetação englobando um intervalo maior de valores de índice de área foliar (LAI) (HOUBORG et al., 2007). Este também é bastante relacionado e sincronizado com as medidas de fotossíntese de torres e tem sido efetivo no monitoramento da vegetação, detecção de mudança e avaliação da variação sazonal de florestas (DENG et al., 2007).

O EVI2 foi desenvolvido por Jiang et al. (2008) para substituir o EVI em sensores sem a banda do azul, como o sensor AVHRR. O objetivo foi desenvolver e avaliar um EVI de duas-bandas (EVI2), sem a banda do azul, que possua similaridade com o EVI, principalmente em áreas com dados de alta qualidade e sem efeitos atmosféricos. Para o cálculo do EVI2 há dois métodos principais: o cálculo do índice de vegetação linear (LVI) e sua calibração com o EVI para gerar um LVI otimizado denominado de EVI2 e pela derivação do EVI2 da equação do EVI utilizando a alta correlação entre as bandas do azul e do vermelho.

O LVI é calculado com base na análise de Jiang et al. (2006), no qual os índices de vegetação são funções dos ângulos espectrais relacionados as isolinhas de vegetação no espaço vermelho e infravermelho (Equação 4).

$$LVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + RED \tan\left(\frac{\pi}{4} + \beta\right) + \frac{L}{(1 - \tan\beta)}} \quad (4)$$

Onde:

NIR e RED = reflectâncias no infravermelho próximo e vermelho corrigidas para efeitos de espalhamento Rayleigh e absorção de ozônio.

G = fator de ganho

β = fator de ajuste linear

L = fator de ajuste ao solo

Os parâmetros G , β e L são definidos com base na menor diferença média absoluta entre o EVI2 e o EVI. Com dados de 40 sítios de campo globalmente, Jiang et

al. (2008) utilizaram-se de um algoritmo dicotômico para selecionar os valores ideais para os parâmetros G , β e L , sendo $G = 2,5$, $\beta = 22,38^\circ$ e $L = 0,59$. Quando estes valores são inseridos na equação 4 obtém-se o EVI2 (Equação 5).

$$EVI2 = 2,5 \frac{NIR - RED}{NIR + 2,4RED + 1} \quad (5)$$

Outra forma de calcular o EVI2 é derivar este do EVI baseando-se na alta correlação entre as bandas do vermelho e do azul ($R^2 = 0,96$). A alta correlação sugere que a banda do azul não contribui muita informação sobre a superfície terrestre quando não há efeitos atmosféricos podendo ser utilizado sem perda de informação. Assim, o EVI2 é funcionalmente equivalente ao EVI, mesmo que mais sensível à presença de aerossóis. A razão entre as bandas do vermelho e do azul define o valor de c , e para cada valor de c há um determinado valor do fator de ganho (G). O valor de c , que minimiza a diferença média absoluta entre EVI2 e EVI é 2,08, que corresponde ao $G = 2,5$, conforme a equação 6.

$$EVI2 = G \frac{NIR - RED}{NIR + RED \left(6 - \frac{7,5}{2,08} \right) + 1} = 2,5 \frac{NIR - RED}{NIR + 2,4RED + 1} \quad (6)$$

Resultados Preliminares

Na figura 1, as amostras de pastagem com os picos máximos do EVI superiores ao do EVI2 indicam a presença de pixels contaminados com nuvens e aerossóis. Já o oposto, picos máximos do EVI2 maiores que do EVI são explicados por um valor de c (razão entre as bandas do vermelho e do azul) maior do que o valor utilizado na equação do EVI2 ($c = 2,08$). A diferença entre o EVI2 e EVI foi pequena (Figura 1), segundo Jiang et al. (2008) uma diferença de $\pm 0,02$ resulta da variação intrínseca da banda do azul sobre diferentes superfícies e variações superiores a isso indicam pixels contaminados com nuvens e aerossóis.

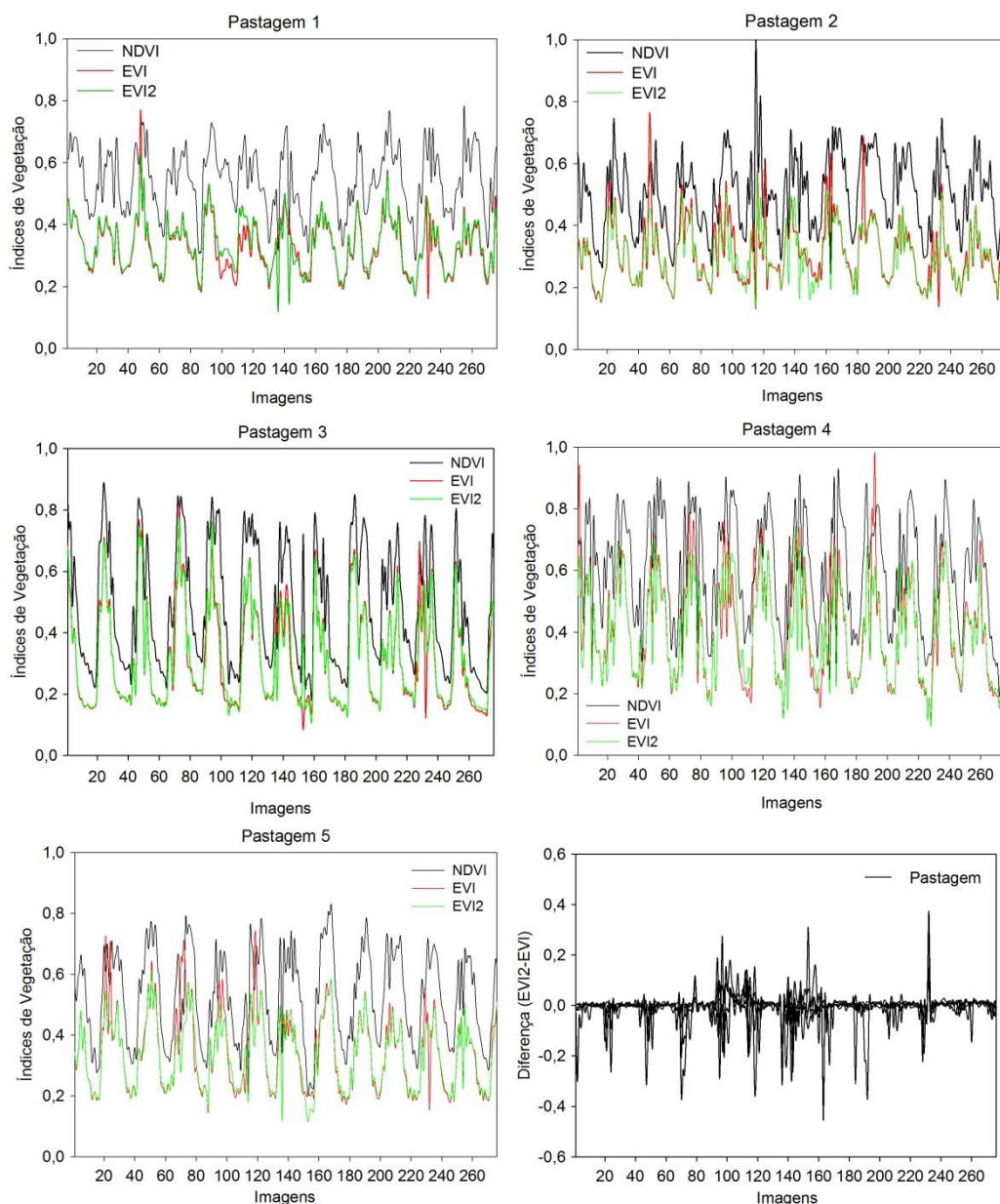


Figura 1 – Série temporal de índices de vegetação de amostras de pastagem

Na figura 2 foram utilizadas 19 amostras de pastagem com no máximo cinco observações ruins para a análise de regressão linear. O EVI e EVI2 teve um $R^2 = 0,962$ indicando uma relação linear forte entre os dois índices e este valor foi inferior ao obtido por Jiang et al. (2008) com $R^2 = 0,998$. Esta diferença se deve ao uso de dados com algumas observações ruins, comparativamente aos dados de Jiang et al. (2008) que utilizaram apenas dados de confiabilidade máxima. Conforme a figura 2, mesmo com alto R^2 ainda permanece alguns valores extremos com maior valor de EVI do que EVI2.

Os valores do NDVI são constantemente maiores que os do EVI e EVI2, com todos os valores abaixo da linha 1:1. A relação linear entre o NDVI e o EVI é menor do

que entre o EVI e EVI2, com $R^2 = 0,751$, apresentando maior dispersão dos valores em torno da linha de regressão, particularmente para os valores de NDVI acima de 0,6 (Figura 2). O mesmo comportamento é observado para o EVI2, mas com um R^2 ligeiramente menor de 0,735 e menor dispersão dos valores em torno da linha de regressão.

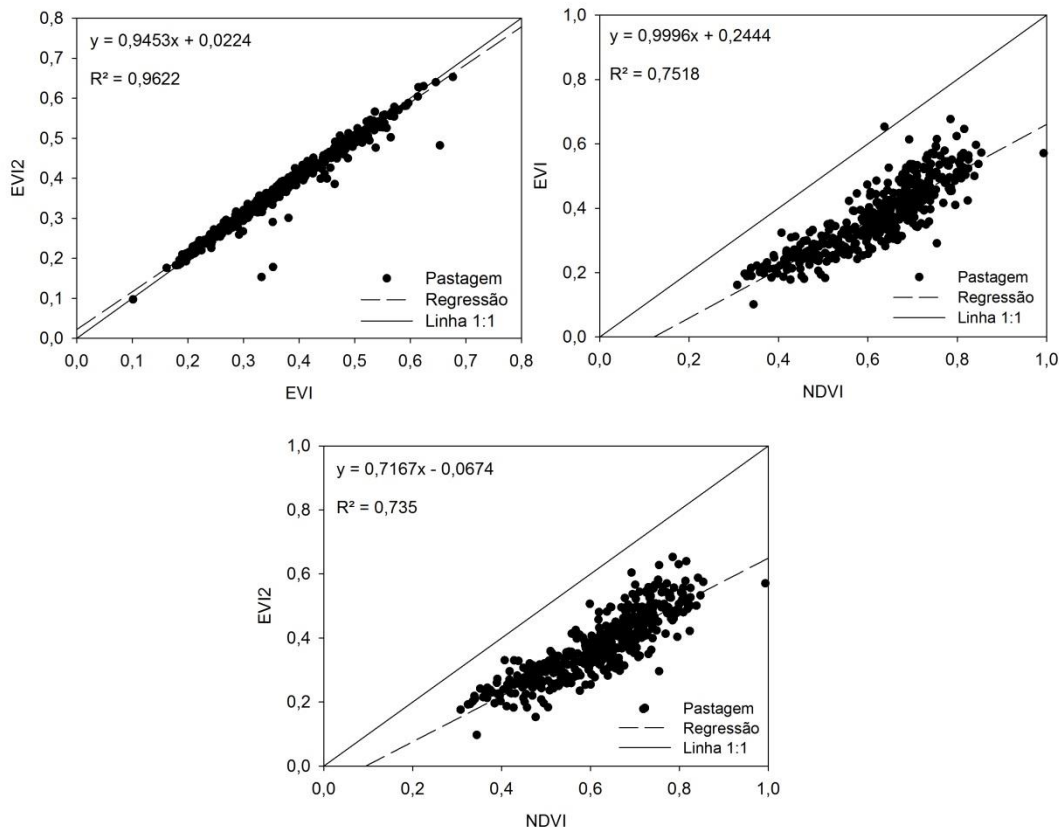


Figura 2 – Regressão linear dos índices de vegetação NDVI, EVI e EVI2

O uso do filtro Savitzky-Golay altera a informação original e para compreender como isso ocorre, foi aplicado o filtro Savitzky-Golay com janelas temporais de diferentes larguras nos índices NDVI, EVI e EVI2. O filtro Savitzky-Golay é um filtro para suavizar dados e minimizar ruídos, sendo que o valor de cada pixel é substituído por uma combinação linear de diferentes valores dentro de uma janela temporal (JONSSON & EKLUNDH, 2004). A largura da janela temporal determina o grau de suavização e a habilidade de detectar mudanças rápidas. O filtro Savitzky-Golay preserva a área e a posição média do valor máximo de cada estação, mas altera a espessura e a altura da curva sazonal. Este filtro é melhor para acompanhar o rápido aumento e a redução dos valores, mas não é adequado para séries temporais com muitos ruídos resultando na determinação errada do final da primeira estação. Já o filtro

Gaussiano é menos sensível ao ruído e melhor na determinação do início e fim das estações.

Na figura 3, observa-se que a aplicação do filtro Savitzky-Golay, independente da largura da janela utilizada, eliminou muitos ruídos presentes na imagem original. Com o aumento da janela temporal os picos máximos são minimizados e os mínimos aumentados achatando e reduzindo a largura da curva temporal. Janelas maiores reduzem a taxa de aumento do índice de vegetação dificultando a detecção de mudanças abruptas no comportamento da vegetação. Assim, o uso de uma janela menor é mais adequado para detectar o aumento súbito nos valores e a resposta quase instantânea da vegetação a precipitação.

Os picos variados (*spikes*) são indicativos de ruídos na imagem. Os ruídos são suavizados com o uso de uma janela temporal maior. No caso do EVI, predominou-se a suavização dos picos máximos e do EVI2 dos picos mínimos (Figura 2). Isso porque a banda do azul responde a contaminação atmosférica aumentando o valor do EVI, já a ausência da banda do azul, a qual é utilizada na correção atmosférica dos dados, reduz o valor do NDVI e EVI2. Este comportamento é retratado para as imagens 90, 110, 150 e 250 do NDVI e EVI2, que apresentaram a mesma queda abrupta nos valores, indicativos de ruídos.

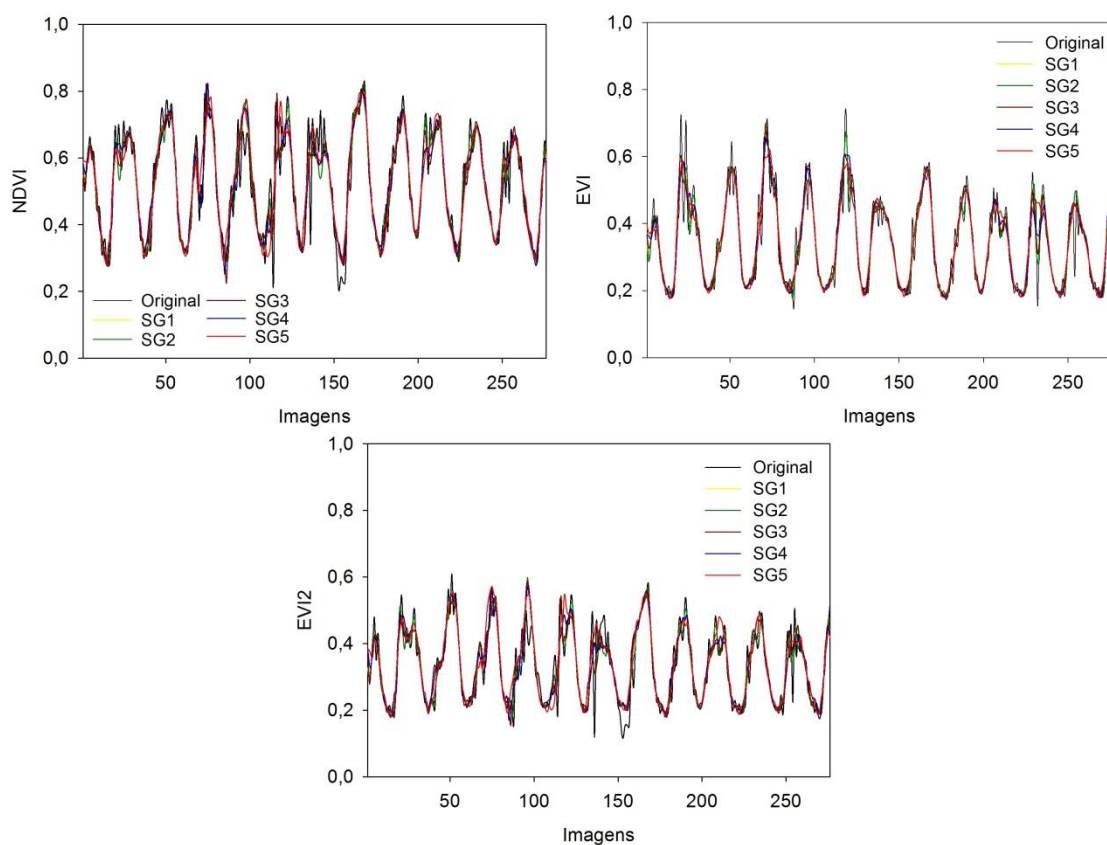


Figura 3 – Filtragem dos índices de vegetação com filtro Savitzky-Golay com janelas de diferentes larguras

A análise entre os dados EVI originais e filtrados foi feita para uma amostra de pastagem ao longo dos anos de 2001 a 2012. Na figura 4, percebe-se que a maioria das amostras está sobre a linha 1:1 ou próximo desta. Observa-se que com o aumento da janela temporal há a redução nos valores extremos e na dispersão dos valores em torno da linha 1:1. A redução da dispersão vem acompanhada de uma maior concentração das amostras nos intervalos de 0,2 a 0,4. A janela com largura de cinco também modificou os valores reduzindo os valores máximos e aumentando os mínimos. A correlação entre os dados EVI originais e filtrados com o uso de uma janela de largura cinco é menor com $r = 0,81$ comparativamente aos dados com janela três e um com $r = 0,97$ e $r = 0,92$.

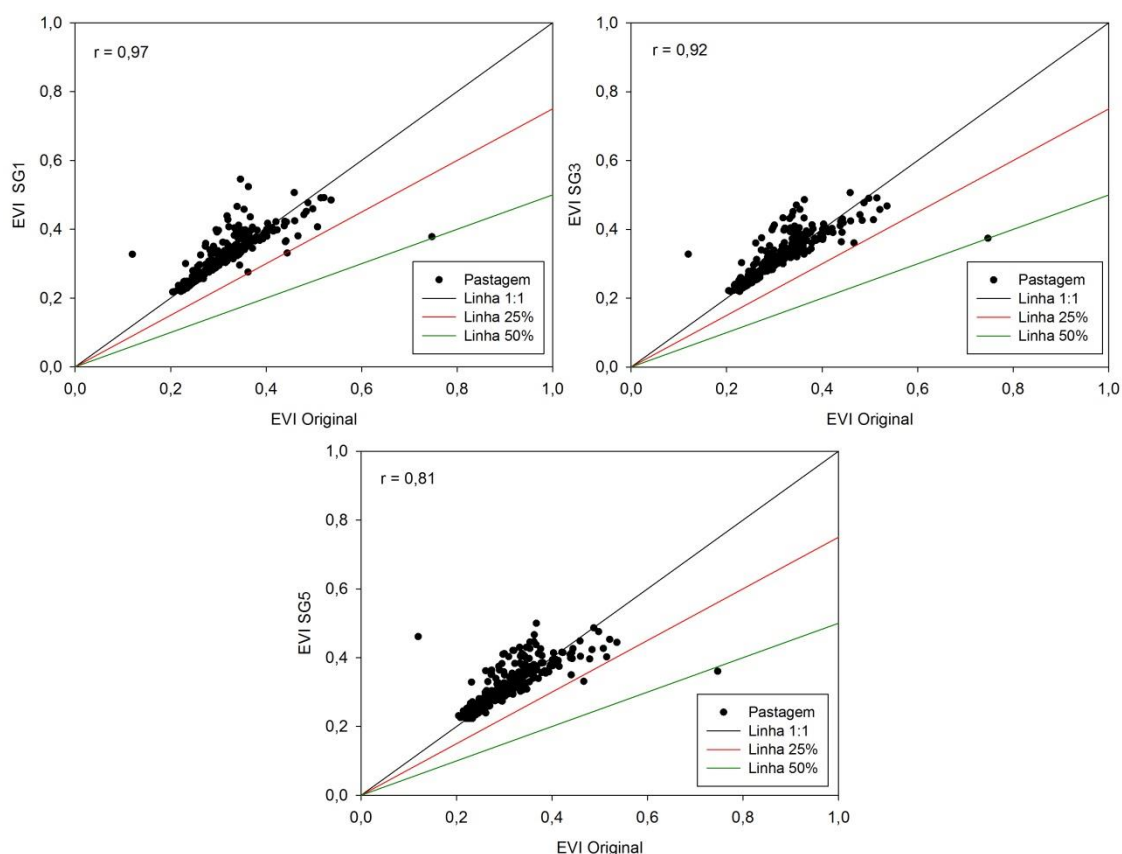


Figura 4 – Relação EVI original e filtrado

Os dados EVI originais e filtrados são diretamente proporcionais, com correlação forte a moderada (0,83 a 0,74), que diminui com o aumento da largura da janela temporal utilizada (Figura 5). A janela de 1 a 3 apresenta correlação forte positiva (acima de 0,8) e a correlação reduz abruptamente com a janela de 4. Da janela 6 a 10, a

redução da correlação é gradual variando de 0,77 para 0,74. A redução da correlação implica que a partir da aplicação de uma janela temporal de 4 os dados filtrados começam a saturar e a semelhança entre os dados originais e filtrados diminui podendo acarretar em perda de informação.

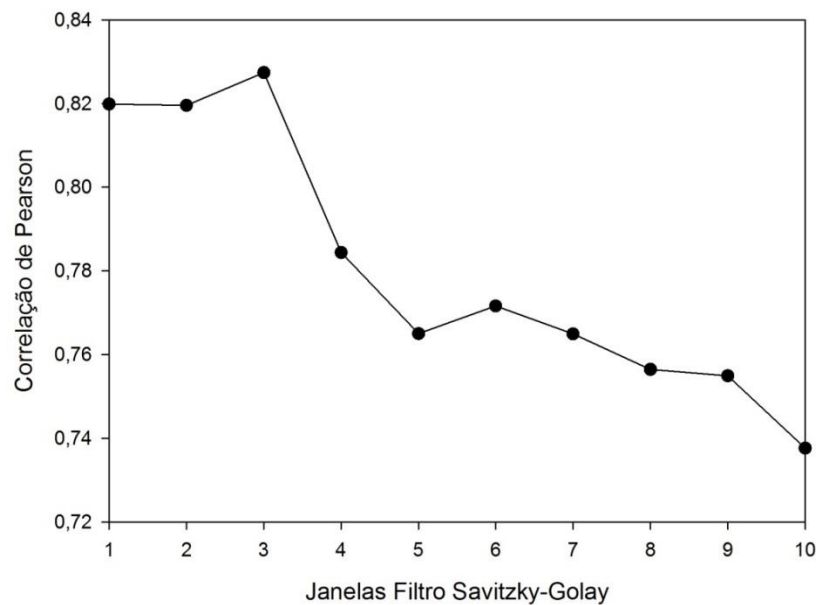


Figura 5 – Correlação entre os dados EVI originais e filtrados com Savitzky-Golay

Considerações

O alto R^2 entre o EVI2 e o EVI sugere que estes podem ser substituídos, se os dados forem corrigidos para efeitos atmosféricos. O EVI2 é a opção mais adequada, pois o EVI utiliza-se de esquemas de correção atmosférica com a banda do azul que variam conforme o sensor. Para uma possível comparação entre sensores, o uso do EVI2 apresentará maior consistência do que o EVI.

Com relação a melhor largura da janela para o filtro Savitzky-Golay recomenda-se a janela de três, sendo esta a que apresentou maior correlação com os dados originais, menor dispersão dos dados em torno da linha 1:1 e poucos valores extremos. A janela de três também reduziu o ruído e suavizou os picos dos dados originais. O uso de uma janela de um resultaria em uma quantidade maior de valores extremos e maior quantidade de ruídos. A largura da janela superior a três apresentaria uma saturação dos dados, além de reduzir a amplitude dos valores de índice de vegetação. O uso de uma janela estreita é mais adequado na detecção de subidas abruptas do índice de vegetação

detectando a resposta da vegetação a ocorrência de precipitação. Assim, busca-se nas próximas etapas do trabalho aplicar o filtro Savitzky-Golay com janela de três nas imagens EVI2 do Brasil para os anos de 2000 a 2013 com o intuito de reduzir problemas oriundos de pixels contaminados com nuvens e aerossóis.

Referências

DENG, F.; SU, G.; LIU, C. Seasonal variation of MODIS vegetation indices and their statistical relationship with climate over the subtropics evergreen forest in Zhejiang, China. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 2, pp. 236-240.

HOUBORG, R.; SOEGAARD, H.; BOEGH, E. Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, pp. 39-58.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, pp. 295-309, 1988.

JIANG, Z.; HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, 2008.

JONSSON, P. & EKLUNDH, L. TIMESAT – a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v. 30, pp. 833-845, 2004.