

Distribuição da pluviometria, NDVI e umidade do solo nos biomas brasileiros

Hugo José Ribeiro¹
Nilson Clementino Ferreira¹
Wellington Nunes Oliveira¹
Rubens Villar Siqueira¹
Alcides Wesley Nunes de Oliveira²
Victor Tomaz de Oliveira³

1Universidade Federal de Goiás- EECA- UFG
Praça Universitária s/n – Setor Universitário - CEP 74605-220 - Goiânia-GO, Brasil
{ hgribeirogeo, nclferreira, wellington.wno, rubens.villar }@gmail.com

2Faculdade Araguaia – FARA
Av. T-10, nº 1047, Setor Bueno - CEP 74223-060 - Goiânia-GO, Brasil
alcides.awno@gmail.com

3Instituto Federal Goiano - Câmpus Urutaí
Rodovia Geraldo Silva Nascimento Km 2,5 - CEP 75790-000 – Urutaí-GO, Brasil
{vto.professor}@gmail.com

Resumo. A umidade do solo é uma variável importante na caracterização de ambientes, uma vez que ela depende de fatores como tipo de solo, relevo, temperatura do ar, pluviometria, uso do solo, dentre outros. Por outro lado, o estudo da umidade do solo por si só já contribui para previsões mais acuradas do clima, sendo uma variável chave nos modelos de inundação e deslizamentos de terra, assim como processos de desertificação e um gerenciamento mais efetivo do balanço hídrico local e regional, além do monitoramento da saúde da vegetação e dinâmica ecossistêmica. Neste artigo buscou-se responder a seguinte questão: As diferenças entre os biomas podem ser caracterizadas pelos dados climáticos e pelo comportamento do índice de vegetação? Para isto, foram utilizadas imagens orbitais de umidade do solo do satélite Soil Moisture Active Passive - SMAP, índice de vegetação de diferença normalizada – NDVI do satélite MODIS e pluviometria do satélite Global Precipitation Measurement – GPM. Os dados foram coletados, organizados, processados e as informações tabeladas para posterior análise. Considerou-se como recorte temporal o período de abril de 2015 a julho de 2016 para todo o território nacional. As análises foram feitas com base na divisão por biomas. Os resultados sugerem que é possível verificar uma diferença quantitativa entre as variáveis analisadas para o período proposto, no entanto, não foi possível afirmar se essas diferenças se mantêm ao longo dos anos.

Palavras-Chave: SMAP, Umidade do solo, Biomas, NDVI

Abstract. Soil moisture is an important variable in the environments characterization, since it depends on factors such as soil type, relief, air temperature, rainfall, soil use, among others. Still, the study of soil moisture, alone contributes to more accurate climate predictions, being a key variable in flood and landslide models, as well as desertification processes and more effective management of the local water balance and Regional, as well as the monitoring of vegetation health and ecosystem dynamics. In this article we tried to answer the following question: Can the differences between the biomes be characterized by the climatic data and the behavior of the vegetation index? Soil orbital images of Soil Moisture Active Passive - SMAP, normalized difference vegetation index - NDVI of MODIS satellite and rainfall of Global Precipitation Measurement (GPM) satellite were used. The data were collected, organized, processed and the information tabulated for later analysis. The period from April 2015 to July 2016 was considered as a temporal cut-off for the all national territory. The analyzes was realized by biome division. The results suggest that it is possible to verify a quantitative difference between the analyzed variables for this proposed period; although it was not possible to state if these differences are maintained over the years.

Keywords: SMAP, Soil Moisture, Biomes, NDVI

1. Introdução

A climatologia é uma ciência que fornece subsídios para estudos relacionados ao clima do planeta (Ahrens, 2007). O clima, por sua vez, se refere as condições atmosféricas de uma determinada região. Estas condições, assim como as características físicas e biológicas diversas, contribuem para a formação de climas diferentes por todo o território nacional, devido a sua extensão continental.

Estudos climáticos são compostos por variáveis que relacionadas entre si contribuem para o entendimento de questões, como: alterações do microclima, derretimento das calotas polares, secas severas, furacões, distribuição da precipitação, dentre outras questões que estão diretamente relacionadas com mudanças climáticas (Ambrizzi et. al., 2007).

Estudos climáticos podem ser utilizados para caracterizar uma determinada região. A caracterização de regiões predominantemente homogêneas, como os biomas, a partir de variáveis climáticas e uso de sensoriamento remoto tem sido objeto de estudo da ciência (Alemohammad et. al., 2016; Wu, 2014).

Caracterizar um bioma considerando apenas o tipo de fitofisionomia torna-se complicado, uma vez que um bioma é um mosaico de fitofisionomias (Coutinho, 2006). Neste sentido, muitos cientistas utilizam um conjunto de fatores (tipo de solo, relevo, umidade do solo, temperatura do ar, índice de vegetação - NDVI) na tentativa de melhorar esta estimativa.

A umidade do solo torna-se uma variável importante na caracterização de ambientes, segundo Martin (2012) e Menezes et al. (2013), uma vez que ela é dependente de todos os fatores citados anteriormente, exceto o NDVI, que é dependente do conteúdo de água disponível no solo e da radiação eletromagnética. Alguns estudos Dick e Schumacher (2015), tentam relacionar apenas solo e vegetação, outros como o de Gasper et al. (2015), relacionam altitude e clima, no entanto, existe um consenso de que as variáveis analisadas são insuficientes ou inespecíficas.

Neste sentido, é de grande relevância a produção de pesquisas com variáveis integradoras, ou seja, que tenham dependência do maior número possível de fatores. Outra questão é a escala de trabalho, a maioria dos estudos apresenta uma escala em nível de bacia hidrográfica, ou município, o que dificulta as análises a nível nacional ou continental.

Por outro lado, o estudo da umidade do solo por si só já contribui para previsões mais acuradas do clima, sendo uma variável chave nos modelos de inundação e deslizamentos de terra, assim como nos processos de desertificação. Na agricultura, o conhecimento da umidade do solo pode colaborar para uma maior produtividade agrícola e melhorar o monitoramento da vegetação e relação da água acima do solo. Gerenciamento mais efetivo do

balanço hídrico local e regional, além do monitoramento da saúde da vegetação e dinâmica ecossistêmica.

Diversas pesquisas Morbidelli et al. (2016), Shi et al. (2016), têm utilizado visita a campo para obter a medida de umidade do solo, o problema é que esses trabalhos são confinados a escalas locais ou regionais, devido ao elevado custo para obtenção de amostras e análise laboratorial. Outros, Zhu et al. (2016), Buxton et al. (2016) utilizam modelos como o de Charles Warren Thornthwaite para estimar o balanço hídrico e conseqüentemente o volume de água armazenado no solo. Para escalas macro, os cientistas vêm trabalhando preferencialmente com dados orbitais de radar, pelo fato destes fornecerem informações de umidade do solo a nível global (Piles et al., 2016; Reichle, 2016; Kim et al., 2016).

2. Objetivo

Neste sentido, a proposta deste artigo é analisar a distribuição espaço-temporal da umidade do solo em todo o território nacional, utilizando como divisão os biomas, com os seus limites político-administrativo sugeridos pelo órgão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pretende-se comparar ao mesmo tempo as variáveis de pluviometria, que influencia diretamente a umidade do solo e, o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – NDVI que é influenciado pela umidade do solo.

3. Materiais e Métodos

3.1 Fluxo de Trabalho

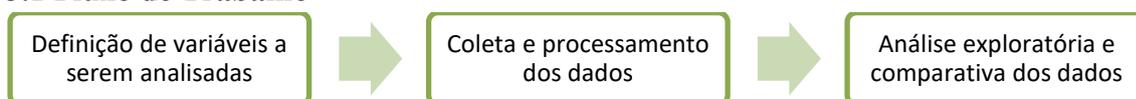


Figura 1 – Etapas para realização da pesquisa.

3.2 Definição das Variáveis

As diferenças entre os biomas podem ser caracterizadas pelos dados climáticos e pelo comportamento do índice de vegetação? Pretende-se com este artigo encontrar a resposta para esta questão utilizando dados pluviométricos, de índice de vegetação (NDVI) e umidade do solo. A partir destas variáveis buscou-se compreender as diferenças.

3.3 Dados da Pesquisa e Área de Trabalho

Para realização desta pesquisa foram utilizadas imagens de umidade do solo do satélite SMAP (*Soil Moisture Active Passive*), de NDVI do sensor MODIS a bordo dos satélites americanos TERRA e AQUA do Programa EOS (*Earth Observing System*) e pluviometria a partir do satélite GPM (*Global Precipitation Measurement*). O recorte temporal foi definido entre abril de 2015 a julho de 2016.

Esse intervalo foi escolhido devido à disponibilidade do dado de umidade SMAP neste mesmo período. O recorte espacial compreende todo o território nacional. Entretanto, para a análise dos resultados, consideraram-se os limites político-administrativos dos biomas brasileiros segundo o IBGE. As imagens foram obtidas a partir do banco de dados da *National Aeronautics and Space Administration (NASA) Earth Explorer*.

3.4 Umidade do solo

O satélite SMAP é uma missão recente da NASA, lançada em janeiro de 2015, e tem como principais objetivos:

- Compreender os processos que ligam os ciclos terrestres de água, energia e carbono;
- Estimar os fluxos globais de água e energia na superfície terrestre;
- Quantificar o fluxo líquido de carbono nas paisagens boreais;
- Melhorar a habilidade de previsão do tempo e do clima;
- Previsão melhorada das inundações e capacidade de monitoramento da seca.

O instrumento SMAP funciona com um radar e um radiômetro de banda L, onde ambos compartilham de um único refletor que serve como malha de alimentação e rede parabólica. Este refletor é deslocado do nadir e gira em torno do eixo do mesmo a 14,6 rpm (velocidade nominal) o que possibilita um varrimento cônico, com um ângulo de incidência na superfície de aproximadamente 40°. A abertura real do radar é de 30 km, e os dados são coletados globalmente durante as passagens ascendentes e descendentes (Reichle et al., 2014).

Diversos produtos são disponibilizados à comunidade científica pelo satélite, e um deles é a umidade do solo a 5 cm e 1m de profundidade a nível global, ou seja, umidade do solo na superfície e na zona de raiz. A unidade utilizada pelo satélite é de m³ de água por m³ de solo (m³/m³) com diferentes resoluções azimutais, que variam de 1 a 47 km, considerando o radar e radiômetro. A **Figura 2** ilustra quais são estes produtos, assim como as suas principais características.

Product	Description	Gridding (Resolution)	Latency	
L1A_TB	Radiometer Data in Time-Order	-	12 hrs	Instrument Data
L1A_S0	Radar Data in Time-Order	-	12 hrs	
L1B_TB	Radiometer T_B in Time-Order	(36x47 km)	12 hrs	
L1B_S0_LoRes	Low Resolution Radar σ_0 in Time-Order	(5x30 km)	12 hrs	
L1C_S0_HIRes	High Resolution Radar σ_0 in Half-Orbits	1 km (1-3 km)	12 hrs	
L1C_TB	Radiometer T_B in Half-Orbits	36 km	12 hrs	
L2_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	24 hrs	Science Data (Half-Orbit)
L2_SM_P	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	24 hrs	
L2_SM_AP	Soil Moisture (Radar+ Radiometer)	9 km	24 hrs	
L3_FT_A	Freeze/Thaw State (Radar)	3 km	50 hrs	Science Data (Daily Composite)
L3_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	50 hrs	
L3_SM_P	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	50 hrs	
L3_SM_AP	Soil Moisture (Radar+ Radiometer)	9 km	50 hrs	
L4_SM	Soil Moisture (Surface and Root Zone)	9 km	7 days	Science Value-Added
L4_C	Carbon Net Ecosystem Exchange (NEE)	9 km	14 days	

Figura 2 – Descrição dos produtos SMAP, resolução espacial e natureza dos dados. Fonte: Reichle et al., 2014

A resolução temporal do produto L4_SM que foi utilizado neste artigo é de 3 horas, o que fornece um total de 8 imagens por dia, considerando o recorte temporal desta pesquisa de 1 de abril de 2015 a 31 de julho de 2016, foram coletadas um total de 3904 imagens para umidade do solo na superfície e, 3904 imagens para umidade do solo na zona de raiz, totalizando 7808 imagens de todo o território nacional. Essa grande quantidade de dados é denominada na literatura como “big data” ou “massive data”. O processamento destes dados requer tempo e esforço computacional.

No intuito de obter uma média mensal a partir dos dados coletados, o primeiro passo foi gerar um recorte nos limites do território nacional para todas as imagens, com isso pôde-se manter apenas os valores que se localizavam dentro da área de interesse. Em seguida, foi gerada uma imagem média utilizando todas as imagens de um mesmo mês, deste modo, obteve-se uma imagem média por mês durante o período estudado de abril de 2015 a julho de 2016.

Na sequência, todas as imagens mensais foram transformadas do formato matricial para o formato vetorial de pontos, por meio de um modelo orientado a objetos em software de

sistemas de informação geográfica SIG, que busca de forma iterativa todos os arquivos de um determinado formato e aplica uma determinada função projetada pelo usuário, que neste caso, refere-se ao recorte no limite nacional e conversão de formatos (**Figura 3**). Esse procedimento foi necessário para extração das estatísticas nos limites de cada bioma. Por fim, as informações foram coletadas e tabuladas em planilha Excel para posterior análise.

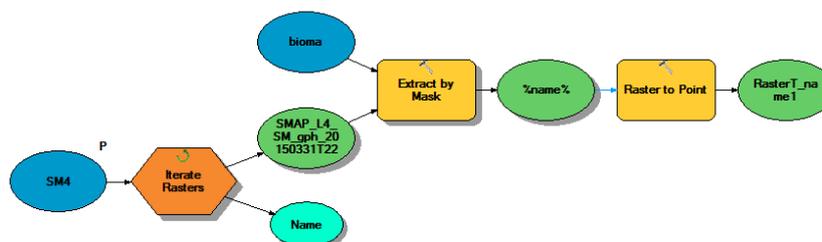


Figura 3 – Modelo utilizado para recorte das imagens no limite nacional.

3.5 Pluviometria

Atualmente é possível obter dados de estimativa de precipitação por meio da coleta *in situ* com pluviômetros, antenas de radar em solo ou a nível orbital a partir de satélites de monitoramento climático da terra. O principal fator determinante na escolha do dado a ser utilizado é a escala de trabalho. Considerando essa premissa e a escala macro desta pesquisa, optou-se por utilizar os dados orbitais de satélite.

Dados de precipitação são coletados por alguns satélites, como: *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* e a missão *Global Precipitation Measurement (GPM)*, o fato é que dependendo do recorte temporal da pesquisa, alguns destes dados já não estão mais disponíveis, a exemplo disto temos o TRMM que coletou sua última informação em 15 de abril de 2015. O seu sucessor GPM é um dos satélites que está ativo até a data atual.

A missão GPM é uma parceria internacional coliderada pela NASA e pela Agência de Exploração (JAXA). A missão consiste em manter uma constelação de satélites adicionais em parceria entre Estados Unidos, Japão, França, Índia e União Europeia. Os satélites da constelação são equipados com avançados sistemas de radar/radiômetro a fim de padronizar medidas de precipitação. A missão GPM, fornece aos usuários medidas de intensidade e variabilidade de precipitação, estrutura tridimensional de nuvens e sistemas de tempestades, microfísica do gelo e partículas líquidas das nuvens e quantidade de água que cai na superfície terrestre.

Outra vantagem deste dado é a sua integração com dados de solo, como as estações pluviométricas, deste modo, aumenta-se a acurácia do dado orbital e consequentemente têm-se uma análise mais consistente de modelos de previsão do tempo, modelos climáticos, modelos hidrológicos integrados e previsões de furacões, deslizamentos de terra e secas.

O satélite GPM encontra-se em uma órbita a 407 km de distância, com ângulo de inclinação de 65° a uma velocidade de 7 km/s. Sua órbita é circular não sol síncrona, com duração de 93 minutos, portanto um total de 16 órbitas por dia, ou seja, uma resolução temporal de 01h30min. O satélite foi projetado para uma vida útil de 3 anos.

Seguindo o mesmo raciocínio de coleta das imagens de umidade do solo, foram coletadas 7808 imagens de precipitação diária em mm/h. O código do produto utilizado é o GPM_3IMERGHHE_03. Após a aquisição das imagens, todas foram recortadas nos limites do território nacional, utilizando o modelo da **Figura 3** e, em seguida, foram geradas as imagens mensais com valores médios para os meses de abril de 2015 a julho de 2016, utilizando álgebra de mapas em software de sistemas de informação geográfica (SIG).

A partir desta etapa, as imagens mensais foram transformadas do formato matricial para o formato vetorial de pontos, para viabilizar a extração das informações contidas em cada pixel. Neste sentido, foram extraídas as informações de intensidade de precipitação por bioma no recorte temporal já especificado. Todos os dados foram armazenados em planilha Excel para posterior análise.

3.6 NDVI

O índice de vegetação de diferença normalizada é um produto gerado pelos sensores Terra e Aqua, a bordo do satélite MODIS, que busca fornecer subsídios à comunidade científica sobre os processos biofísicos / bioquímicos de superfícies cobertas por vegetação. As imagens são obtidas a nível global com diferentes resoluções espaciais, dependendo do produto adquirido, variando entre 250m, 1km ou 0,05°. A resolução temporal das imagens é de 16 dias ou mensais.

As imagens de NDVI são produzidas por meio da **Equação 1**, de forma indireta utilizando as medidas do comprimento de onda e a intensidade da luz visível, mais especificamente a banda do vermelho (V), e do infravermelho próximo (IVP), captado pelos sensores.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Equação 1

O principal objetivo das imagens NDVI é monitorar as alterações na vegetação do planeta, para que os cientistas possam estudar as relações entre a qualidade da vegetação e os impactos no meio ambiente. A partir destas imagens, é possível identificar onde as plantas estão mais saudáveis, ou seja, realizando a fotossíntese e onde elas estão sob estresse, o que indica, dentre outros fatores, a falta de água, que por sua vez está diretamente relacionada com a umidade do solo.

Considerando a periodicidade mensal das imagens, foram coletadas 16 imagens para o período de abril de 2015 a julho de 2016. Todas as imagens foram recortadas no limite nacional e depois transformadas do formato matricial raster para o formato vetorial de pontos utilizando o modelo da **Figura 3**. Em seguida, foram coletadas as informações gravadas nos pixels das imagens referentes ao vigor da vegetação, por bioma e, para o recorte temporal especificado. Todas as informações foram armazenadas em planilha Excel para posterior análise.

3.7 Análise Exploratória e Comparativa dos Dados

Os valores médios mensais de umidade do solo na superfície, umidade do solo na zona de raiz, pluviometria e NDVI, foram organizados por bioma e para o recorte temporal especificado anteriormente em todo o território nacional.

Estas informações foram utilizadas para gerar gráficos, comparando num primeiro momento, as médias mensais entre as variáveis das imagens de satélites e, num segundo momento, comparando as médias mensais entre os biomas para cada variável (umidade do solo na superfície, umidade do solo na zona de raiz, pluviometria e NDVI). A partir destes gráficos, buscou-se compreender se havia algum padrão entre as variáveis ou entre os biomas.

4. Resultados e Discussão

A priori, os dados revelam o que já era esperado, existe uma tendência que acompanha as características de cada bioma, ou seja, onde há muita precipitação, tem-se alta umidade do solo tanto na superfície, quanto na zona de raiz e, conseqüentemente alto valor de NDVI, já

que as plantas teriam disponibilidade de água suficiente para fazer a fotossíntese. A primeira análise foi feita considerando as variáveis por biomas, nota-se que existe uma semelhança entre alguns biomas como ilustra a **Figura 4**.

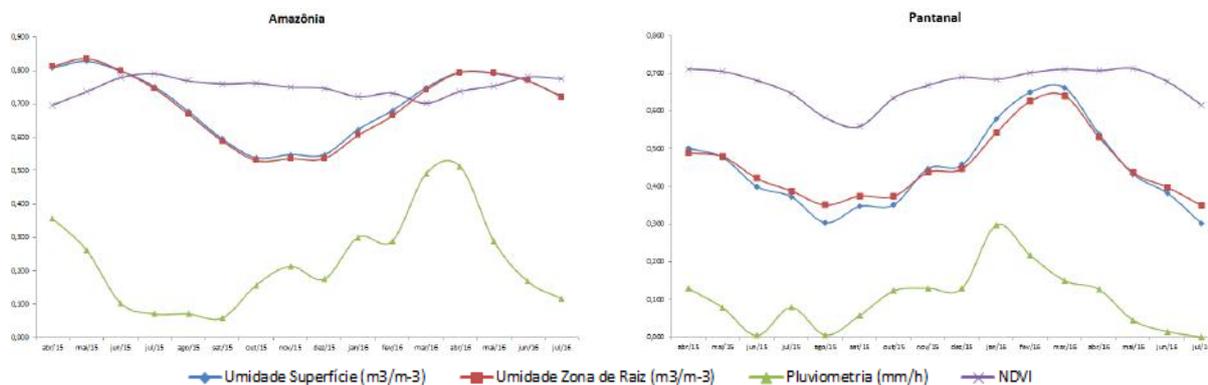


Figura 4 – Comparação entre as variáveis, umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para os biomas Amazônia e Pantanal.

O bioma Amazônia apresentou um índice de vegetação (NDVI) mais constante ao longo do período estudado, este fato pode ser explicado pela densa estrutura florística deste bioma. Esta densidade evita que um maior fluxo de evapotranspiração ocorra e com isso mantém o solo mais úmido, consequentemente, as plantas terão uma maior quantidade de água disponível para uso por mais tempo e, assim, estarão com a sua atividade fotossintética sempre alta.

Dentre os biomas estudados, o Pantanal é o mais parecido com a Amazônia, porém nota-se uma queda mais acentuada nos meses de julho a outubro, que são meses onde ocorre menor volume de precipitação. A distribuição da precipitação nos dois biomas é bem similar, contudo, o bioma Amazônia se diferencia por ter maior quantidade. A umidade do solo acompanha a pluviometria, as duas variáveis estão diretamente correlacionadas, e nos dois casos apresentados não há discrepâncias neste sentido.

O bioma Mata Atlântica (**Figura 5**), apresentou maior correlação entre as variáveis analisadas. O NDVI teve um comportamento semelhante à umidade do solo, tanto na zona de raiz, quanto na superfície, que por sua vez acompanharam a distribuição da precipitação para o período analisado.

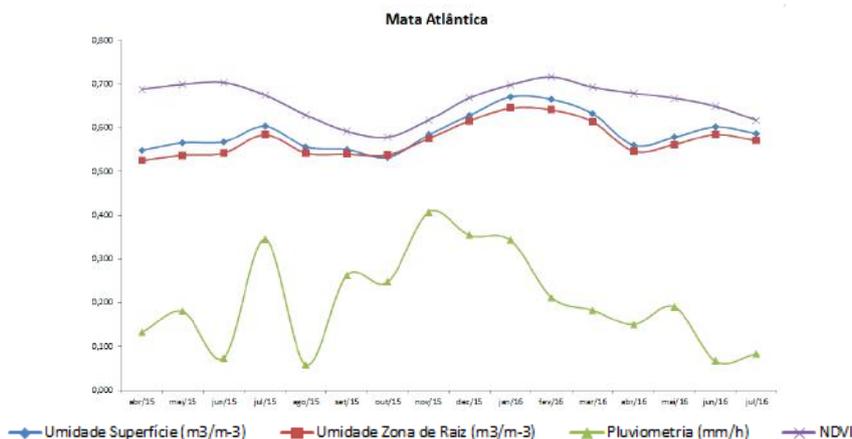


Figura 5 – Umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para o bioma Mata Atlântica.

Os dados revelam que o bioma Cerrado e Caatinga (**Figura 6**) têm características climáticas e físicas semelhantes. Os dois têm um período de seca severa entre os meses de maio a outubro, sendo que na Caatinga esse período se entende um pouco mais, e vai até dezembro. Geralmente são 9 meses de seca e apenas de 2 a 3 meses de precipitação (Costa et al., 2016). A partir daí, os dois biomas apresentam uma quantidade maior de precipitação. Vale destacar que os valores de precipitação no bioma Caatinga nos períodos de seca chegam a quase zero.

Nestes biomas nota-se uma particularidade em relação à umidade do solo, nos biomas Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica quase não há diferenças entre a umidade na superfície e na zona de raiz, já no Cerrado essa diferença é expressiva e, pode ser explicada pelo tipo de solo predominante na região, profundos e porosos. Na Caatinga, a umidade na superfície é menor do que na zona de raiz, justamente pelo fato de haver pouca precipitação, além de solos rasos e pedregosos, o que dificulta o acúmulo de água na superfície, esses fatores na verdade aumentam a evaporação.

O NDVI se mantém de acordo com a precipitação, valores baixos nas épocas de seca e, altos nas épocas de maior precipitação. Os valores mínimos de NDVI para o período analisado estão entre 0,4 e 0,3 para o Cerrado e Caatinga respectivamente. Em relação aos outros biomas que tem valores mínimos em torno de 0,6, podem ser considerados abaixo da média. Apesar da formação vegetal destes locais terem como característica a resistência e raízes profundas, isso mostra que nestas regiões há um déficit hídrico.

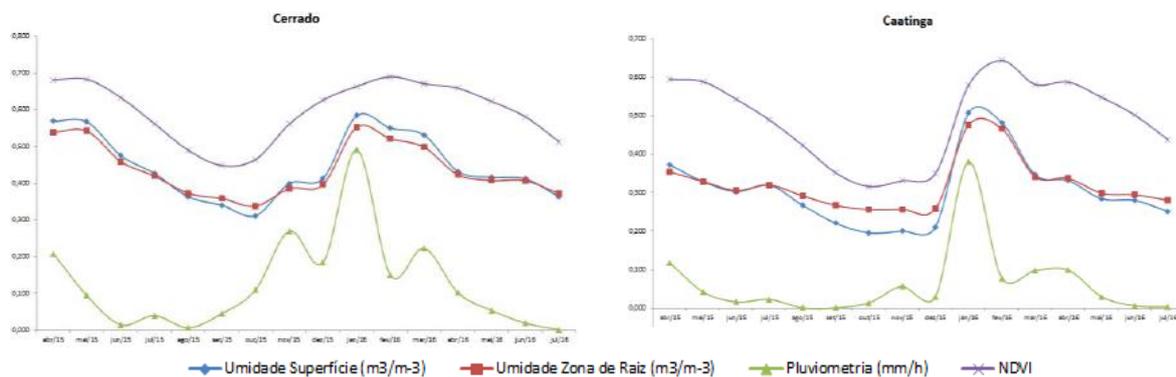


Figura 6 – Comparação entre as variáveis, umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para os biomas, Cerrado e Caatinga.

O bioma Pampa (**Figura 7**) apresentou um comportamento diferenciado em relação aos outros biomas. Em todos os biomas analisados, notou-se que o NDVI variou conforme a precipitação e umidade do solo. No caso do bioma Pampa, enquanto a umidade do solo e a precipitação aumentava o NDVI diminuía, se comportando na contramão dos outros biomas.

Para responder a essa discrepância, analisou-se as características do bioma Pampa, que possui grandes áreas alagadas, deste modo, quando se tem elevadas taxas de precipitação a umidade do solo aumenta proporcionalmente, no entanto em locais onde a vegetação está coberta por água o sensor de satélite que capta a energia eletromagnética refletida da superfície, recebe um fraco sinal destes locais vegetados, ou a energia é absorvida pela água totalmente e não retorna, ou retorna ao sensor de forma reduzida, o que faz com que os valores de NDVI sejam baixos nestas circunstâncias.

Por outro lado, quando a umidade do solo está baixa e há pouca precipitação, os locais que foram alagados secam e a vegetação passa a fazer a fotossíntese de forma mais vigorosa e, essa energia é captada pelos sensores em sua totalidade.

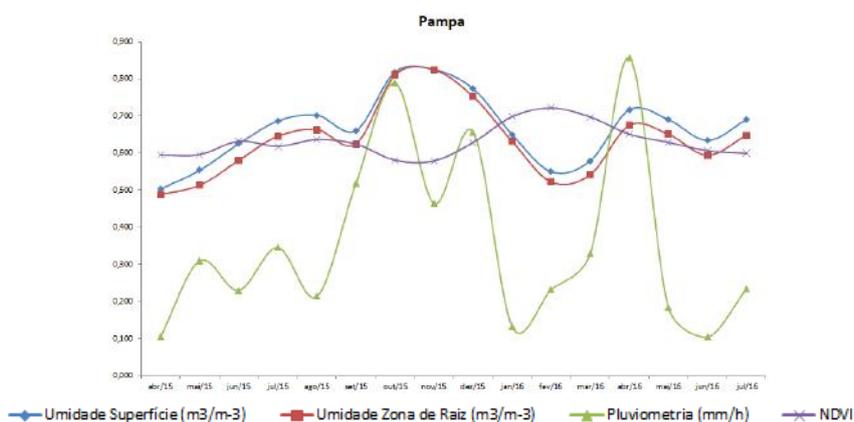


Figura 7 – Umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviosidade e NDVI para o bioma Pampa.

Comparou-se cada variável em relação aos biomas. O regime pluviométrico teve um comportamento semelhante em todos os biomas, menos no bioma Pampa. Mais especificamente no mês de janeiro enquanto houve um aumento da precipitação em todos os biomas, o Pampa apresentou uma queda expressiva neste mês, como mostra a **Figura 8**. No entanto devido à impossibilidade de analisar essa queda em um contexto temporal mais extenso, não se pode afirmar que apenas o bioma Pampa tem menor precipitação nos meses de janeiro.

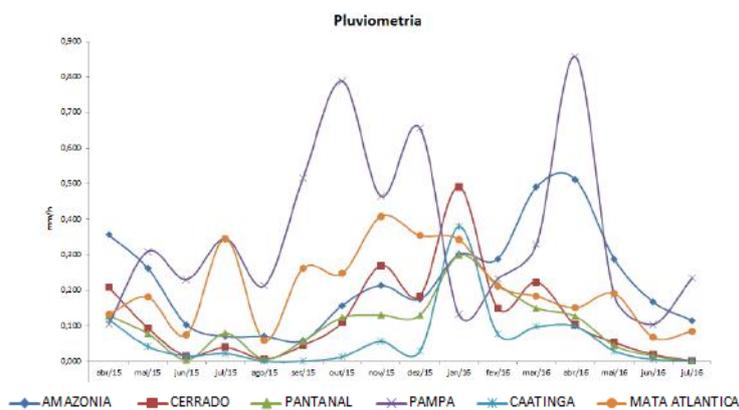


Figura 8 – Pluviometria para todos os biomas brasileiros no período analisado.

Como a umidade do solo e o NDVI estão diretamente relacionados com a precipitação, a resposta para estas variáveis manteve a mesma tendência observada na precipitação, considerando as diferenças quantitativas entre os biomas, com todos eles acompanhando a variabilidade ao longo do tempo, menos o bioma Pampa, que apresentou um comportamento inverso no mês de janeiro de 2016. O reflexo na umidade do solo veio um mês depois, já o NDVI só começou a reduzir a partir de março.

5. Conclusão

As diferenças entre os biomas podem ser caracterizadas pelos dados climáticos e pelo comportamento do índice de vegetação? A partir da exploração dos dados coletados e, considerando o período analisado de 16 meses, observa-se que somente com as variáveis de precipitação, umidade do solo e NDVI, podem-se perceber diferenças quantitativas, porém não é possível caracterizar um ou outro bioma considerando somente as informações analisadas.

Sugere-se que outras variáveis, como: tipo de solo, evapotranspiração, temperatura da superfície, relevo, que são variáveis diretamente relacionadas à umidade do solo, sejam incluídas na análise, para verificar a possibilidade de encontrar diferenças que caracterize um ou grupos de biomas.

6. Referências

- Ahrens, C. D. **Meteorology today**. Thomson Brooks/Cole, CA, USA. 537 pp, 2007.
- Alemohammad, S. H. et al. **Characterization of Vegetation and Soil Scattering Mechanisms across Different Biomes using P-band SAR Polarimetry**. arXiv preprint arXiv:1611.02729, 2016.
- Ambrizzi, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais**. Ministério Do Meio Ambiente-MMA, Secretaria De Biodiversidade E Florestas-SBF, Diretoria De Conservação Da Biodiversidade, 2007.
- Buxton, M.; Osman-Schlegel, N. Y.; Lopes, D. Soil moisture change and land use in Victoria, Australia. **Australasian Journal of Environmental Management**, p. 1-16, 2016.
- Costa, C. A. G. et al. Permanência Da Efetividade Da Água Na Zona De Raízes No Bioma Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 692-699, 2016.
- Coutinho, L. M. O conceito de bioma. **Acta botanica brasílica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.
- De Gasper, A. L. et al. Variação da estrutura da Floresta Estacional Decidual no estado de Santa Catarina e sua relação com a altitude e clima. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 77-89, 2015.
- De Menezes, J. A. L. et al. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, n. 1, p. 45-51, 2013.
- Dick, G.; Schumacher, M. V. Relações entre solo e fitofisionomias em florestas naturais. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, v. 3, n. 2, p. 31-39, 2015.
- Kim, S. et al. **Surface soil moisture retrieval using L-band SMAP SAR data and its validation**. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. IEEE, 2016. p. 143-146.
- Matin, S.; Goswami, S. B. Dryland characterization through geospatial techniques: a review. **International Journal of Remote Sensing and Geoscience**, v. 1, n. 1, p. 34-41, 2012.
- Morbidelli, R. et al. An investigation of the effects of spatial heterogeneity of initial soil moisture content on surface runoff simulation at a small watershed scale. **Journal of Hydrology**, v. 539, p. 589-598, 2016.
- Piles, M. et al. **Multi-temporal microwave retrievals of Soil Moisture and vegetation parameters from SMAP**. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. IEEE, 2016. p. 242-245.
- Reichle, R. et al. Level 4 **Surface and Root Zone Soil Moisture (L4_SM)** Data Product. 2014.
- Reichle, R. H. et al. **First Results from the SMAP Level 4 Surface and Root Zone Soil Moisture (L4_SM)** Data Product. 2016.
- Shi, X. et al. **Research on soil moisture dynamic under negative pressure irrigation**. In: Advances in Energy, Environment and Materials Science: Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Materials Science (EEMS 2015), Guangzhou, PR China, August 25-26, 2015. CRC Press, 2016. p. 161.
- Wu, W. **The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization**. Remote Sensing, v. 6, n. 2, p. 1211-1233, 2014.

Zhu, G. et al. Variation of Thornthwaite moisture index in Hengduan Mountains, China. **Chinese Geographical Science**, p. 1-16, 2016.