

## Multivariate analysis of soil moisture data

Any G. de Sena\*, Josicléda D. Galvincto\*\*, Valéria S. de O. Costa\*\*\*, Rodrigo de Q. Miranda\*\*\*\*, Maria do Socorro B. de Araújo\*\*\*\*\*Magna Soelma Beserra de Moura\*\*\*\*\*

\*Mestranda do Programa de Pós-Graduação de Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Universidade Federal de Pernambuco -UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: any.sena.geo@hotmail.com (Corresponding author)

\*\*Professora e Pesquisadora do Departamento de Ciências Geográficas e do PRODEMA/UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: josicleda@gmail.com

\*\*\*Professora, CAPES/PNPD-PRODEMA/UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: costavso@yahoo.com.br.

\*\*\*\*Bolsista CAPES/PNPD/FACEPE/ PRODEMA, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: rodrigo.qmiranda@gmail.com

\*\*\*\*\*Professora e Pesquisadora do Departamento de Ciências Geográficas e do PRODEMA/UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: [socorro@ufpe.br](mailto:socorro@ufpe.br)

\*\*\*\*\* Pesquisadora da EMBRAPA semiárido. E-mail: magna.moura@embrapa.br

Received 13 June 2017; accepted 30 October 2017

### Abstract

Soil water content is an important variable in the understanding of hydrology in agricultural and environmental systems in a region. It is known that soil moisture is related to soil characteristics, porosity, depth, hydraulic conductivity, among others, that is, characteristics that define its typology. Studies related to soil moisture are still very precarious in Brazil. Recently, the Europe Space Agency has provided soil moisture data estimated worldwide with satellite data. This availability made possible the spatial and temporal assessment of soil moisture for different studies in the world, even though we did not know the accuracy of these data. Many studies have used multivariate analysis to find groups that have similar characteristics that can be analyzed and managed with the same actions. Therefore, this study sought to analyze the similarities and dissimilarities between soil types when considering the characteristics of soil moisture, precipitation, soil elevation and soil depth. After applying the statistical methods it was possible to perceive that the soil moisture does not depend strongly on the precipitation and to suggest caution in the analysis of the relations between the humidity factor and the others scored.

Keywords: multivariate statistics, Ward method, soil moisture.

## Análise multivariada de dados de umidade do solo

### RESUMO

O conteúdo de água no solo é uma variável importante na compreensão da hidrologia em sistemas agrícolas e ambientais de uma região. Sabe-se que a umidade do solo tem relação com as características do solo, porosidade, profundidade, condutividade hidráulica, dentre outros, ou seja, características que define sua tipologia. Os estudos relacionados a umidade do solo ainda são bastante precários no Brasil. Recentemente, a Europe Space Agency disponibilizou dados de umidade do solo para todo o mundo estimados com dados de satélites. Esta disponibilização tornou possível a avaliação espacial e temporal de umidade do solo para diferentes estudos do mundo, mesmo não sabendo a precisão destes dados. Muitos estudos têm se utilizados de análise multivariada para encontrar grupos que possuem características semelhantes que possam ser analisados e gerenciados com as mesmas ações. Portanto este estudo buscou-se analisar as similaridades e dissimilaridades entre os tipos de solos quando considerado as características umidade do solo, precipitação, elevação do terreno e profundidade do solo. Após a aplicação dos métodos estatísticos foi possível perceber que a umidade do solo não depende fortemente da precipitação e sugerir cautela nas análises de relações entre o fator umidade e demais pontuados.

Palavras-chave: estatística multivariada, método de Ward, umidade do solo.

### 1. INTRODUÇÃO

A água é necessária para a existência e manutenção humana assim como influência de direta

ou indireta dos principais fenômenos que ocorrem nos solos. O intemperismo, os processos de formação, atividade biológica, crescimento de plantas, assim como, poluição do lençol freático recebem impacto

direto do regime hídrico dos solos. O conteúdo de água no solo é uma variável importante na compreensão da hidrologia em sistemas agrícolas e ambientais de uma região (White, 2005), principalmente semiárida, uma vez que está prática é dependente da disponibilidade deste recurso. Consequentemente, as práticas agrícolas necessitam de estratégias para o desenvolvimento de culturas com maior precisão, ou seja, estratégias de gerenciamento com o potencial de integrar conjuntos de dados variados através de informações e tecnologias no desenvolvimento de decisões e de produção de cultura Whiting (2006). Uma vez que as novas tecnologias contribuem para o aumento de produtividade das áreas agrícolas, gerando dados que podem promover o aumento da eficiência e redução dos custos da produção e os impactos sobre o ambiente.

Compreender as dinâmicas de disponibilidade hídrica no solo e sua variação no tempo e no espaço, é uma atividade que exige atenção a fatores biofísicos terrestres e atmosféricos. A umidade do solo é um recurso considerado limitante, pois sua variabilidade pode ser atribuída a alguns fatores, a exemplo o índice pluviométrico, tipologia e profundidade do solo, a declividade do terreno e o uso da terra. O teor de água no solo é de extrema importância para o desenvolvimento da cobertura vegetal, pois é um dado que corrobora diretamente com as estratégias de gerenciamento agrícola e gestão ambiental.

Os estudos relacionados a umidade do solo ainda são bastante precários no Brasil. Recentemente, a Europe Space Agency disponibilizou dados de umidade do solo para todo o mundo estimados com dados de satélites, <http://rs.geo.tuwien.ac.at/data-viewers/>. Esta disponibilização tornou possível a avaliação espacial e temporal de umidade do solo para diferentes estudos do mundo, mesmo não sabendo a precisão destes dados.

Sabe-se que a umidade do solo tem relação com as características do solo, porosidade, profundidade, condutividade hidráulica, dentre outros, ou seja, características que definem o tipo de solo. Sabe-se também que solos com características físicas semelhantes podem apresentar diferentes umidades.

Muitos estudos têm se utilizados de análise multivariada para encontrar grupos que possuem características semelhantes que possam ser analisados e gerenciados com as mesmas ações.

Segundo Sartori (2008) as multivariadas são modelos estatísticos que consideram muitas variáveis ao mesmo tempo, o que demanda um exame detalhado e rigoroso dos dados, pois o tratamento inadequado pode ter efeitos “catastróficos”.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar as similaridades e dissimilaridades entre os tipos de solos quando considerado as características umidade do solo, precipitação, elevação do terreno e profundidade do solo.

## 2. Material e métodos

### Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no âmbito dos municípios: Goiana-PE; Gado Bravo-PB; Serra Branca-PB; São José do Egito-PE; Princesa Isabel-PB; Ibiara-PB; Jardim-CE; Ipubi-PE; Araripina-PE; e Belém do Piauí-PI, representando quatro estados do Nordeste do Brasil.

### Aquisição dos dados

As variáveis “tipos de solo” e “profundidade”, foram obtidas no manual de solos do Brasil EMBRAPA (2006), em que: PV – Argissolos Vermelhos, PVA- Argissolos Vermelho-Amarelo LVA- Latossolos Vermelho-Amarelo, e TC - Luvisolos Crômicos.

A variável “Elevação do terreno” foi obtida através do Google Earth Pro. Os dados de “Precipitação diária” foram obtidos através da Agência Executiva de Gestão das Águas (AES/A) e Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), para os estados da Paraíba e Pernambuco, respectivamente. Os dados de Precipitação referentes ao município de Jardim- CE e Belém do Piauí foram preenchidos com dados da estação meteorológica mais próxima do município, mas pertencente ao Estado de Pernambuco. Foram utilizados neste estudo dados do período de 1 a 16 de janeiro de 1980. Os dados foram organizados em planilha Excel (Figura 1).

1	UNIC	LONG	LAT	UMID 01.01.1980	UMID 03.01.1980	UMID 06.01.1980	UMID 08.01.1980	UMID 11.01.1980	UMID 13.01.1980	UMID 16.01.1980	ELEVAÇÃO m	tipos Solos	profund [cm]	PREC 01.01.1980	PREC 03.01.1980	PREC 06.01.1980	PREC 08.01.1980	PREC 11.01.1980	PREC 13.01.1980
2	1	-34.849	-7.651	0.3426056	0.37908936	0.3940735	0.41522217	0.44319153	0.43946838	0.42887878	4	PVA	200	0	0	4.8	0.2	13.1	0
3	2	-36.837	-7.651	0.12631226	0.1149678	0.34265137	0.3856659	0.3888092	0.41478663	0.38534546	305	RL	20	0	0	0	2.2	0	0
4	3	-36.848	-7.616	0.0731882	0.0738678	0.27661133	0.29032898	0.2724762	0.3065338	0.31738607	557	TC	80	1.3	0	0	15.1	0	0
5	4	-37.134	-7.51	0.14709473	0.14733396	0.15638733	0.10984802	0.06187439	0.07333374	0.045318604	638	TC	80	0	1.8	0	0	4.1	0
6	5	-37.980	-7.488	0.16362	0.15560913	0.19389343	0.11314392	0.097732544	0.07333374	0.04737854	365	RL	20	0	2.5	0	0	0	0
7	6	-38.452	-7.488	0.18685913	0.18885803	0.45578003	0.33399963	0.33406067	0.45861816	0.389328	510	RL	20	0	0	0	0	0	0
8	7	-39.188	-7.466	0.37467957	0.40457153	0.47535215	0.38519287	0.33406067	0.51153564	0.389328	964	PV	150	0	0	0	0	2.1	0
9	8	-40.155	-7.488	0.30093384	0.30563354	0.3878479	0.2936554	0.33041382	0.42637634	0.39587402	833	LVA	200	0	0	0	0	0	0
10	9	-40.594	-7.455	0.3156891	0.34350586	0.48843384	0.4235077	0.49195862	0.51246643	0.50668335	773	LVA	200	0	0	0	0	0	0
11	10	-41.122	-7.477	0.3156891	0.34350586	0.48443804	0.41778564	0.49195862	0.51246643	0.50668335	261	PVA	200	0	0	0	0	0	0

Figura 1 - Organização dos dados obtidos na planilha do Excell.

Na obtenção dos dados de umidade do solo, foram escolhidos pontos aleatórios, visando cobrir de

leste-oeste as microrregiões do Nordeste Brasileiro. As informações foram obtidas na plataforma Climate

Change Initiative, link [http://rs.geo.tuwien.ac.at/cci\\_dataviewer/](http://rs.geo.tuwien.ac.at/cci_dataviewer/), que disponibiliza dados globais de umidade do solo em diversas resoluções. Logo, para esta ocasião os dados foram obtidos numa resolução de 100 por 100 m; camada (0-7 cm). Todos os dados são datados de 1 a 16 de Janeiro de 1980 (Figura 2). A escolha dos dados neste período ocorreu na tentativa de escolher um

período com menor ação antrópica e representar uma situação sem interferência das mudanças climáticas atuais. O intuito é identificar as relações existentes entre a precipitação e umidade do solo com menor interferência humana e das mudanças climáticas.

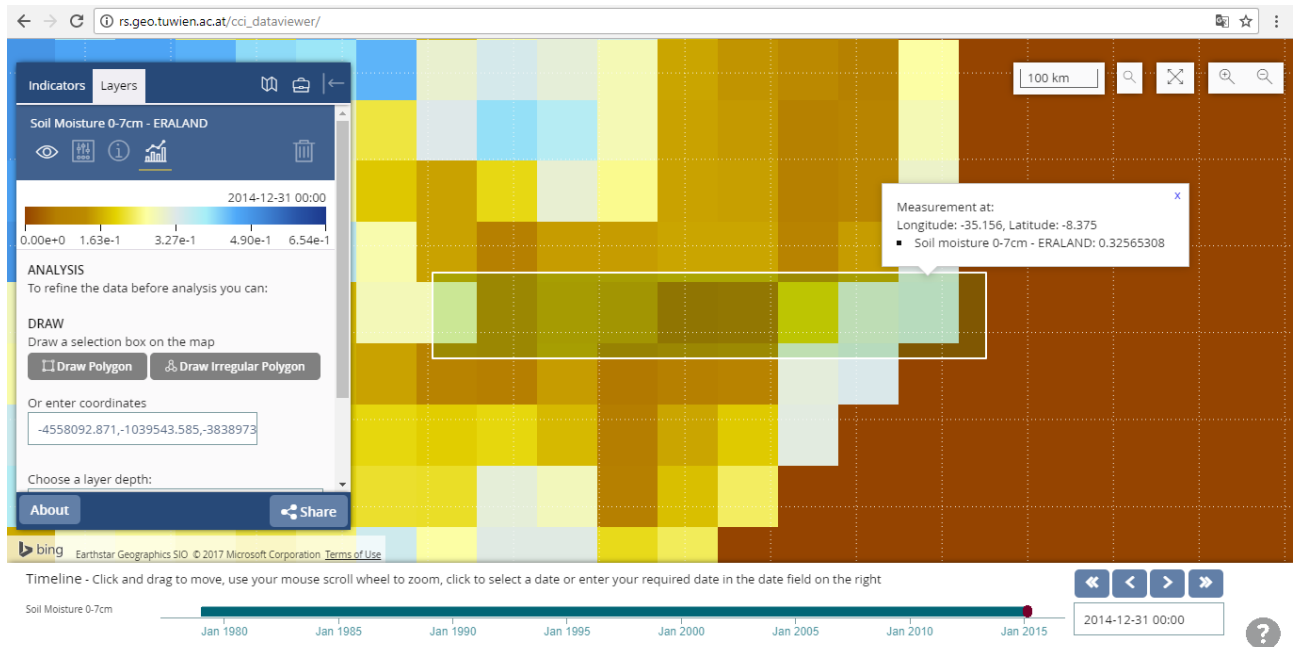


Figura 2 - Plataforma Climate Change Initiative

### Análise estatística

Em Software estatístico foi aplicado o método de Clusterização hierárquica, através do método iterativo de Ward e a análise do índice de Distância euclidiana que posteriormente possibilitou a análise da distância mínima e máxima entre os valores apresentados.

### Método de Ward

Segundo Hair et al. (2005), o método de Ward consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Esse método tende a resultar em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido a sua minimização de variação interna. Em cada estágio, combinam-se os dois agrupamentos que apresentarem menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos.

Outros detalhes deste método podem ser encontrados em Fehine e Galvínio (2008).

## 3. Resultados e discussão

Inicialmente foi realizado a avaliação dos solos que apresentavam características similares de umidade do solo, profundidade, precipitação e

elevação do terreno. Foi obtido quatro grupos homogêneos (Figura 3). Grupo 1: contou com três tipos de solos, sendo PV (ponto 7), LVA (ponto 8), PVA (ponto 9) e PVA (ponto 10); Grupo 2: PVA (ponto 1); Grupo 3: TC (ponto 4), RL (ponto 5) e RL (ponto 6); Grupo 4: TC (ponto 3). Nota-se que o PVA (ponto 10) não se juntou com o PVA (ponto 1) e nem o TC (ponto 4) com o TC (ponto 3). Para o PVA o que diferenciou foi a umidade do solo que no ponto 10 estavam sempre superiores ao ponto 1, mesmo no ponto 10 não ocorrendo precipitação. Isso nos sugere uma área de agricultura irrigada no ponto 10. No caso da TC a umidade está relacionada a precipitação, uma vez que no ponto 3 onde choveu mais a umidade do solo estavam sempre mais altas. Sugere que o estudo da relação entre precipitação e umidade do solo para grandes áreas geográficas deve ser feito com cautela uma vez que algumas áreas irrigadas apresentam maiores umidades do solo que não estão relacionadas a precipitação. Por outro lado, o estudo da umidade do solo para avaliação dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica é mais real uma vez que o uso antrópico do solo para agricultura irrigada irá interferir na umidade do solo sem a presença de precipitação e essa umidade irá interferir no manejo e planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

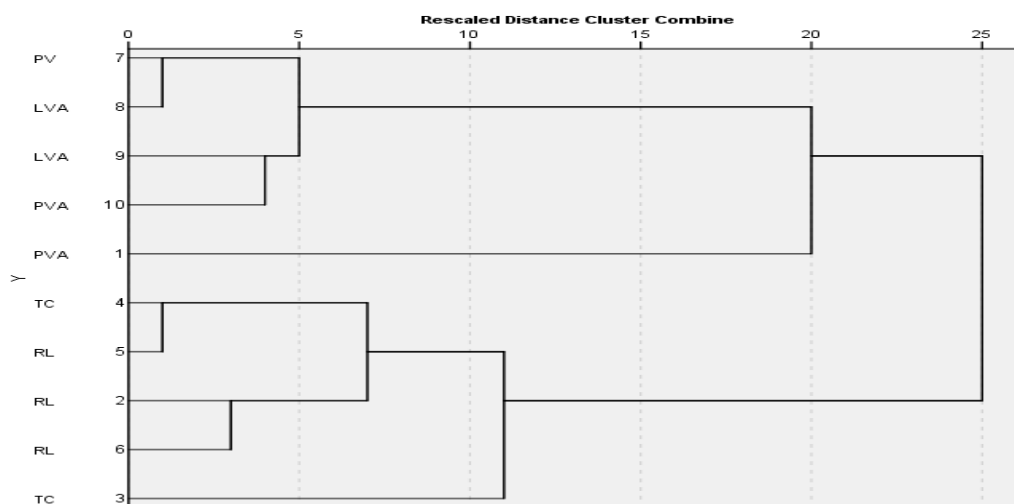


Figura 3 - Dendrograma pelo método de Ward relacionados a umidade do solo, precipitação, elevação do terreno e profundidade do solo. PV (Argissolos Vermelhos), LVA (Latosolos Vermelho-Amarelo), PVA (Argissolos Vermelho-Amarelo), TC (Luvisolos Crômicos) e RL (Neossolos Litólicos).

Para verificar o quanto distante estão o PVA (ponto 10) e o PVA (ponto 1), como também TC (ponto 3) e o TC (ponto 4) analisou a matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado, Tabela 1. Nota-se que os TCs apresentaram menores

distâncias quando comparado com os PVAs, isso porque os TCs são pontos que estão separados devido a variação na precipitação, mas o PVAs está separado pela umidade do solo que possuem características externas aos dados analisados.

Tabela 1 - Matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado.

Dados	Distância Euclidiana Quadrada							
	1:PVA <sup>1</sup>	2:RL <sup>2</sup>	3:TC <sup>3</sup>	4:TC	5:RL	6:RL	7:PV <sup>4</sup>	8:LVA <sup>5</sup>
1:PVA	.000	49.506	88.381	63.500	74.928	64.473	48.203	52.553
2:RL	49.506	.000	28.215	24.505	20.915	12.327	24.565	17.960
3:TC	88.381	28.215	.000	33.454	35.596	30.141	52.038	40.080
4:TC	63.500	24.505	33.454	.000	5.384	15.632	30.997	23.587
5:RL	74.928	20.915	35.596	5.384	.000	12.312	35.162	26.030
6:RL	64.473	12.327	30.141	15.632	12.312	.000	23.610	16.052
7:PV	48.203	24.565	52.038	30.997	35.162	23.610	.000	3.108
8:LVA	52.553	17.960	40.080	23.587	26.030	16.052	3.108	.000
9:LVA	50.756	19.370	41.571	37.503	38.382	20.879	14.049	10.784
10:PVA	45.984	18.699	42.765	35.797	35.325	29.808	17.882	12.966

<sup>1</sup>PVA (Argissolos Vermelho-Amarelo); <sup>2</sup>RL (Neossolos Litólicos); <sup>3</sup>TC (Luvisolos Crômicos); <sup>4</sup>PV (Argissolos Vermelhos); e <sup>5</sup>LVA (Latosolos Vermelho-Amarelo).

Posteriormente foi analisado a variação temporal dos dados em estudo e o quanto eles são homogêneos. Nessa análise foi identificado quatro grupos homogêneos (Figura 4). Grupo 1: agrupou as umidades e profundidade do solo; Grupo 2: Precip<sub>6</sub>,

Precip<sub>11</sub>, Precip<sub>13</sub> e Precip<sub>16</sub>; Grupo 4: Precip<sub>1</sub> e Precip<sub>8</sub> e Grupo 5: elevação do terreno e Precip<sub>3</sub>. Nota-se que a umidade do solo não se agrupou com a precipitação. A elevação do terreno se agrupou com a precipitação. Ou seja, sugere cautela avaliar a umidade

do solo com a precipitação. Segundo Galvincto e França (2014), a umidade do solo depende

principalmente da frequência e intensidade da precipitação e menos do total precipitado.

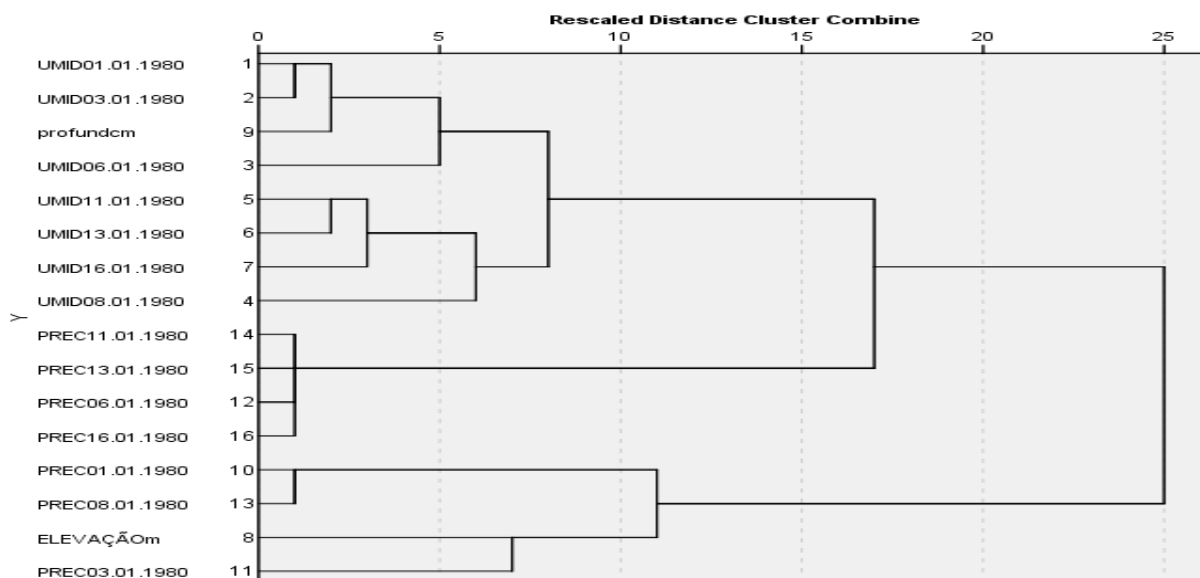


Figura 4 - Dendrograma pelo método de Ward da relação temporal entre as variáveis umidade do solo, precipitação, elevação do terreno e profundidade do solo.

Para verificar o quanto distante estão os grupos formados da variação temporal das variáveis estudadas analisou a matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Nota-se que as

distâncias da precipitação que mais se aproxima da umidade do solo é o da precipitação do dia 06/01 com a umidade do solo dos dias os dias 11, 13 e 16 de janeiro de 1980.

Tabela 2 - Matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado para umidade nos dias 1, 3, 6 e 8 de janeiro de 1980.

DADOS	MATRIX FILE INPUT			
	UMID 01.01.1980	UMID 03.01.1980	UMID 06.01.1980	UMID 08.01.1980
UMID 01.01.1980	.000	.039	7.635	9.221
UMID 03.01.1980	.039	.000	7.968	9.485
UMID 06.01.1980	7.635	7.968	.000	15.674
UMID 08.01.1980	9.221	9.485	15.674	.000
UMID 11.01.1980	7.750	7.546	13.191	8.446
UMID 13.01.1980	6.495	6.369	8.304	11.399
UMID 16.01.1980	15.569	14.882	17.195	16.998
ELEVACÃO m	15.065	15.498	20.877	16.170
PROFUND (cm)	3.159	2.965	10.189	14.552
PREC 01.01.1980	27.382	26.923	25.773	26.048
PREC 03.01.1980	24.966	25.149	21.077	26.553
PREC 06.01.1980	11.550	11.072	13.195	11.830
PREC 08.01.1980	28.325	27.897	25.301	25.267
PREC 11.01.1980	11.887	11.362	12.895	13.541
PREC 13.01.1980	11.670	11.149	12.593	13.682
PREC 16.01.1980	14.384	13.966	12.600	11.340

Tabela 3 - Matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado para umidade nos dias 11, 13 e 16 de janeiro de 1980, elevação e profundidade.

DADOS	MATRIX FILE INPUT				
	UMID 11.01.1980	UMID 13.01.1980	UMID 16.01.1980	ELEVAÇÃO m	PROFUND (cm)
UMID 01.01.1980	7.750	6.495	15.569	15.065	3.159
UMID 03.01.1980	7.546	6.369	14.882	15.498	2.965
UMID 06.01.1980	13.191	8.304	17.195	20.877	10.189
UMID 08.01.1980	8.446	11.399	16.998	16.170	14.552
UMID 11.01.1980	.000	4.210	5.959	21.170	7.747
UMID 13.01.1980	4.210	.000	7.421	16.142	4.257
UMID 16.01.1980	5.959	7.421	.000	27.114	10.934
ELEVAÇÃO m	21.170	16.142	27.114	.000	15.624
PROFUND (cm)	7.747	4.257	10.934	15.624	.000
PREC 01.01.1980	19.805	18.389	15.352	17.226	20.875
PREC 03.01.1980	33.158	30.620	25.397	19.324	26.244
PREC 06.01.1980	13.104	14.456	12.200	29.121	11.550
PREC 08.01.1980	19.348	17.932	14.585	18.050	21.916
PREC 11.01.1980	16.922	15.835	14.805	26.773	12.060
PREC 13.01.1980	17.581	15.862	15.581	25.826	12.122
PREC 16.01.1980	13.983	14.591	11.479	30.193	14.362

Tabela 4 - Matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado para precipitação nos dias 1, 3, 6 e 8 de janeiro de 1980.

DADOS	MATRIX FILE INPUT			
	PREC 01.01.1980	PREC 03.01.1980	PREC 06.01.1980	PREC 08.01.1980
UMID 01.01.1980	27.382	24.966	11.550	28.325
UMID 03.01.1980	26.923	25.149	11.072	27.897
UMID 06.01.1980	25.773	21.077	13.195	25.301
UMID 08.01.1980	26.048	26.553	11.830	25.267
UMID 11.01.1980	19.805	33.158	13.104	19.348
UMID 13.01.1980	18.389	30.620	14.456	17.932
UMID 16.01.1980	15.352	25.397	12.200	14.585
ELEVAÇÃO m	17.226	19.324	29.121	18.050
PROFUND (cm)	20.875	26.244	11.550	21.916
PREC 01.01.1980	.000	20.952	20.000	.190
PREC 03.01.1980	20.952	.000	20.952	21.445
PREC 06.01.1980	20.000	20.952	.000	20.068
PREC 08.01.1980	.190	21.445	20.068	.000
PREC 11.01.1980	20.936	18.480	1.009	21.161
PREC 13.01.1980	21.145	18.167	1.511	21.410
PREC 16.01.1980	20.901	20.570	.990	20.192

Tabela 5 - Matriz de proximidade pela distância euclidiana ao quadrado para precipitação nos dias 11, 13 e 16 de janeiro de 1980.

DADOS	MATRIX FILE INPUT		
	PREC 11.01.1980	PREC 13.01.1980	PREC 16.01.1980
UMID 01.01.1980	11.887	11.670	14.384
UMID 03.01.1980	11.362	11.149	13.966
UMID 06.01.1980	12.895	12.593	12.600
UMID 08.01.1980	13.541	13.682	11.340
UMID 11.01.1980	16.922	17.581	13.983
UMID 13.01.1980	15.835	15.862	14.591
UMID 16.01.1980	14.805	15.581	11.479
ELEVAÇÃO m	26.773	25.826	30.193
PROFUND (cm)	12.060	12.122	14.362
PREC 01.01.1980	20.936	21.145	20.901
PREC 03.01.1980	18.480	18.167	20.570
PREC 06.01.1980	1.009	1.511	.990
PREC 08.01.1980	21.161	21.410	20.192
PREC 11.01.1980	.000	.064	1.557
PREC 13.01.1980	.064	.000	2.012
PREC 16.01.1980	1.557	2.012	.000

Para saber se existe defasagem entre a relação entre a precipitação e umidade do solo foi realizada uma correlação com atrasos (lag) 14 para tentar encontrar a relação entre a precipitação do passado com a umidade do solo futura. O coeficiente de correlação não ultrapassou 0.20. Ou seja, existe uma baixa relação entre o total precipitado e a umidade do solo.

#### 4. Conclusões e sugestões

Após aplicação dos métodos estatísticos foi possível perceber que a umidade do solo não depende fortemente da precipitação. Sugere-se cautela no uso das relações entre precipitação e umidade do solo. E que a ação antrópica e as variações de intensidade de frequência da precipitação são mais importantes para avaliar a umidade do solo do que somente o total precipitado seja ele diário, mensal ou anual.

#### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa à primeira autora, ao CNPQ, pelas bolsas de produtividade em pesquisa da segunda autora, e aos Laboratórios de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) e de Análises dos Recursos Naturais (LARN) da Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura e apoio nas atividades de pesquisa.

#### Referencias

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro.
- Fechine, J.A.L., Galvêncio, J.D., 2008. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brigida-PE, através da multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física* 1, 39-46.
- Galvêncio, J.D., L.M.A., 2014. Impact of the hydric reposition in soil on the agriculture in semi arid region. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 4, 134-152.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 2005. *Análise Multivariada de Dados*. 5. ed. Bookman, Porto Alegre.
- Sartori, S.D., 2008. Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, ESALQ.
- White, R.E., 2005. *Principles and Practice of Soil Science: the soil as a natural resource*. 4th ed. Blackwell, Oxford.
- Whiting, M.L., Ustin, S.L., Zarco-Tejad, P., Palacios-Orueta, A., Vanderbilt, V.C., 2006. Hyperspectral mapping of crop and soils for precision agriculture. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III*, 62980B. doi: 10.1117/12.681289