

## ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL ANUAL EM MARILÂNDIA-ES

---

Mateus Mendes Magela<sup>1</sup>, Evandro Chaves de Oliveira<sup>2</sup>, Ricardo da Silva Santos<sup>3</sup>,  
Cássio Lima Furtado<sup>4</sup>, Marta Cristina Teixeira Leite<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Prof. Mestre Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Itapina, Espírito Santo, Brasil (mateusmendes.m@uol.com.br; mateusmendes\_m@hotmail.com)

<sup>2</sup>Prof. Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Itapina, Espírito Santo, Brasil

<sup>3</sup>Prof. Mestre Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Itapina, Espírito Santo, Brasil

<sup>4</sup>Prof. Especialista Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Itapina, Espírito Santo, Brasil

<sup>5</sup>Prof<sup>ª</sup>. Doutora Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Itapina, Espírito Santo, Brasil

Recebido em: 08/04/2017 – Aprovado em: 10/06/2017 – Publicado em: 20/06/2017  
DOI: 10.18677/EnciBio\_2017A8

---

### RESUMO

A precipitação pluvial constitui-se em um dos elementos climáticos que exerce maior influência sobre as condições ambientais. Dessa forma, pesquisas que abordam o desenvolvimento de modelos responsáveis por expressar o comportamento dos padrões de pluviometria baseada em dados históricos são importantes e necessárias em diversos contextos, tais como, produção da cultura, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, etc. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo identificar a tendência probabilística de ocorrências de anos com precipitações acima ou abaixo da média anual em Marilândia-ES. Para tal, foram utilizados os dados precipitação pluvial anuais referente ao período de 1976 a 2015. A modelagem dos dados foi realizada por meio das cadeias de Markov. Por meio da análise dos dados, verificou-se que a probabilidade em longo prazo de ocorrer um ano com precipitação anual abaixo da média é de 53,1%. Enquanto que, a probabilidade de ocorrer um ano com índices de precipitação pluvial anual acima da média será de 46,9%. Desse modo, pode-se dizer que a climatologia da região de Marilândia assumirá um comportamento com predominância de anos secos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cadeias de Markov, Chuva, Tendência.

### ANALYSIS OF ANNUAL RAINFALL TRENDS IN MARILÂNDIA-ES

#### ABSTRACT

Rainfall is one of the climate elements that most influence on environmental conditions. Therefore, researches on the development of models responsible for expressing the behavior of rainfall patterns based on historical data are important and necessary in various contexts, such as crop production, water resources management, environmental assessment, water erosion, etc. Thus, this study aimed to identify the probabilistic trend of years with precipitation above or below the annual

average in Marilândia-ES. To this end, the annual rainfall data covering the period from 1976 to 2015 were used. Data modeling was performed using the Markov chains. Through data analysis, it has been found that the long-term probability of occur a year with annual rainfall below the average is 53.1%. Whereas, the probability of one-year annual rainfall rates above average is 46.9%. In conclusion, the climatology of Maryland region assumes a behavior with a predominance of dry years.

**KEYWORDS:** Rainfall; Trend: Markov Chains

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável e limitado sendo de suma importância para a manutenção da vida na terra (LIMA et al., 2016). Por outro lado, os indicadores de estabilidade e riqueza de uma nação, até a última década, eram as reservas de petróleo ou de recursos minerais não renováveis. Esses indicadores começaram a ser questionados, em virtude dos danos provocados pela escassez da água no meio ambiente e ao próprio homem (PITELIS, 2013). Deste modo, tendo em vista a crescente preocupação com a disponibilidade de água, estudos que visam um melhor aproveitamento, otimização e quantificação do volume pluviométrico têm sido valorizados e priorizados em todo o mundo.

Os eventos extremos climáticos e ambientais associados a períodos irregulares de precipitação podem afetar de maneira severa a geração de energia, abastecimento de água, turismo e em particular as atividades agrícolas. Um exemplo dessa associação catastrófica é o momento em que se encontra a microrregião noroeste do estado do Espírito Santo que convive com escassez de chuva a três anos (2014-2016) e mais recentemente teve o abastecimento de água agravado, contestando a eficiência dos indicadores atuais de qualidade da água, em virtude do desastre ambiental sem precedentes causado pelo rompimento da barragem de Fundão e Santarém em Bento Rodrigues (MG), próximo a Mariana (MG) (LIMA et al., 2016).

Cabe ressaltar que, a mudança no comportamento da distribuição da precipitação tem implicações diretas no ciclo hidrológico e disponibilidade dos recursos hídricos. Segundo o Intergovernmental Painel on Climate Change (IPCC, 2007) a mudança nos regimes de precipitação pluvial afetará de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia. QIN & LIN (2005) afirmam que a frequência e a persistência de períodos de seca deverá ser uma das principais consequências do aquecimento global. Desta forma, estudos sobre tendência e variabilidade climática ganham importância em um momento em que as discussões sobre as mudanças climáticas estão se manifestando com as mais variadas intensidades (GALVANI et al., 2016).

Cenários como esses já estão sendo vivenciados pela população capixaba, em meio a maior crise hídrica do estado há quase 80 anos, a Companhia Espírito Santense de Saneamento adotaria um regime de rodízio de água entre os bairros da região metropolitana da Grande Vitória em virtude do nível crítico de vazão dos principais rios que abastecem a região.

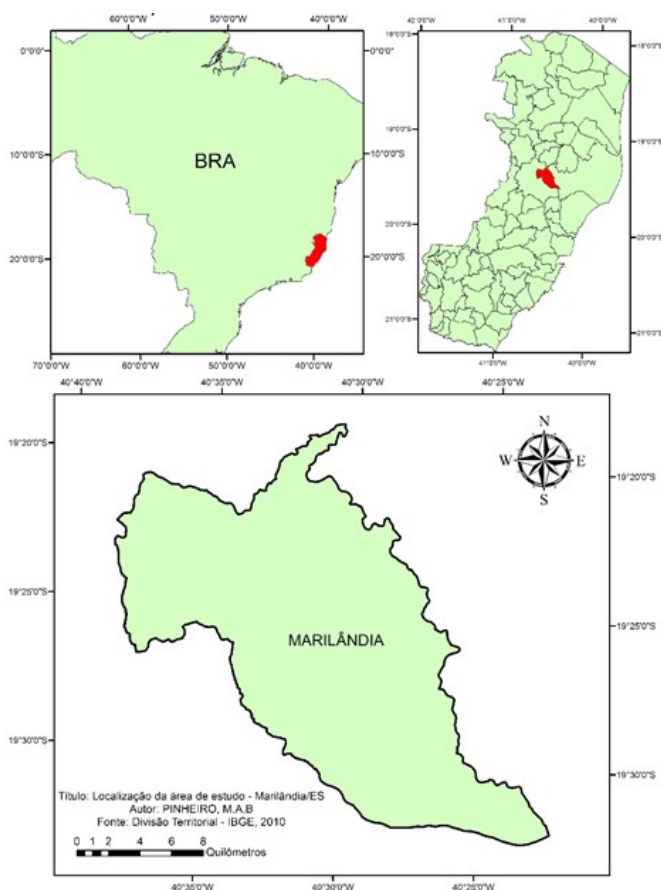
Neste sentido, CALGARO et al. (2009) afirmam que o conhecimento da probabilidade da precipitação pluvial proporciona inúmeras possibilidades de avaliação e planejamento da produção agropecuária, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, sobretudo a quantificação da análise econômica e possibilidade de investimentos a médio e longo prazo. Vale ressaltar que, as alterações climáticas locais são mensuradas através de séries históricas de

parâmetros meteorológicos, tais como, precipitação e temperatura. O regime pluviométrico, portanto, é um parâmetro decisivo nas condições do clima e cobertura vegetal, assim como, a sazonalidade e alteração em médio e longo prazo.

Diante dessas considerações, o escopo deste artigo foi identificar a tendência probabilística de ocorrências de anos com precipitações acima ou abaixo da média anual no município de Marilândia-ES.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os indicadores pluviométricos utilizados neste trabalho se referem ao município de Marilândia localizado na região noroeste capixaba a  $19,407^{\circ}$  S;  $40,539^{\circ}$  W e altitude de 104 metros (Figura 1). O clima da região é Tropical Aw, de acordo com a categorização climática de Köppen. A região em estudo é marcada pela falta de regularidade das chuvas e ocorrência de elevadas temperaturas. Foram utilizados dados anuais de precipitação pluvial de 39 anos (1976-2015). Os dados de precipitação foram capturados pelo Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER).



**FIGURA 1** – Localização da área de estudo.

Fonte: Autores

Para a modelagem matemática dos dados foi necessário determinar alguns dados faltantes. Para tal, utilizou-se nos anos de 1976, 1996 e 1998 dados do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction) (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>) e, para o ano de 2002 dados da estação pluviométrica do Serviço Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento Ambiental (SANEAR), vinculada ao INCAPER.

Para identificar a tendência da precipitação pluvial foi utilizado o modelo matemático conhecido como Cadeia de Markov (C.M.). A cadeia de Markov é um processo estocástico em que a distribuição de probabilidade de um estado futuro depende apenas do estado imediatamente anterior. Em outras palavras, é um processo estocástico  $X_1, X_2, \dots, X_n$  que possui a seguinte propriedade:

$$P(X_n = i_n | X_0 = i_0, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}) = P(X_n = i_n | X_{n-1} = i_{n-1}) \quad (1)$$

Essa propriedade conhecida como cadeia de Markov confere ao processo uma característica chamada de processo desmemoriado. O resultado do estado futuro depende apenas do estado imediatamente anterior, não são considerados os motivos e ações de intemperes que possibilitaram as transformações que o sistema chegasse no estado presente.

A escolha da Cadeia de Markov como método de modelagem justifica-se pela existência de uma distribuição estacionária, isto é, a sequência  $M, M^2, \dots, M^n, \dots$  das potências de  $M$  tende à matriz  $T$ , cujas colunas são todas iguais ao vetor de probabilidade fixo  $w$ . Então, em longo prazo, a probabilidade de qualquer estado  $s_j$  do processo ocorra é dada pela componente  $x_j$  do único vetor de probabilidade fixo da matriz de transição  $M$ , para determinar as sequências das potências de  $M$  foi utilizado o *software wxMaxima 11.04*.

O modelo matemático baseado no princípio da Cadeia de Markov teve a seguinte distribuição dos indicadores:

- ano chuvoso: aquele que apresenta precipitação pluvial anual acima da média.
- ano seco: aquele que apresenta precipitação pluvial anual abaixo da média.

Doravante, considere as possíveis combinações entre os dois estados, ano seco (1) e ano chuvoso (2), estão demonstradas nas seguintes probabilidades de transição:

- $p_{11}$  = probabilidade de ocorrer um ano seco dado que o ano anterior seco;
- $p_{12}$  = probabilidade de ocorrer um ano seco dado que o ano anterior chuvoso;
- $p_{21}$  = probabilidade de ocorrer um ano chuvoso dado que o ano anterior seco;
- $p_{22}$  = probabilidade de ocorrer um ano chuvoso dado que o ano anterior chuvoso.

A partir dessas probabilidades de transição entre os estados, obtém-se a seguinte matriz de transição  $M$  conhecida como matriz de transição do sistema.

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{seco} & \text{chuvoso} \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix} & \begin{matrix} \text{seco} \\ \text{chuvoso} \end{matrix} \end{matrix} \quad (2)$$

As probabilidades de transição da matriz  $M$  foram obtidas pela razão entre frequência ( $N_{ij}$ ) de ocorrências entre anos chuvosos e secos da série histórica registrada pela estação meteorológica de Marilândia.

(3)

$$p_{11} = \frac{N_{11}}{N_{11} + N_{21}}$$

$$p_{12} = \frac{N_{12}}{N_{12} + N_{22}}$$

$$p_{21} = \frac{N_{21}}{N_{11} + N_{21}}$$

Os indicadores da distribuição acima significam respectivamente:

- $N_{11}$  – corresponde ao número de anos secos, sendo o anterior seco;
- $N_{12}$  – corresponde ao número de anos secos, sendo o anterior chuvoso;
- $N_{21}$  – corresponde ao número de anos chuvoso, sendo o anterior seco;
- $N_{22}$  – corresponde ao número de anos chuvosos, sendo o anterior chuvoso.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A previsão das tendências sobre a precipitação pluvial anual futura foi calculada segundo a modelagem dos que deram origem a seguinte matriz de transição de probabilidades abaixo:

|  |      |         |         |
|--|------|---------|---------|
|  | seco | chuvoso |         |
| $M = \begin{pmatrix} 0,4287 & 0,6470 \\ 0,5713 & 0,3530 \end{pmatrix}$ |      |         | seco    |
|  |      |         | chuvoso |

Utilizou-se as propriedades matriciais para encontrar o único vetor de probabilidade fixo da matriz  $M$ , isto é, um vetor  $w$  tal que:

$$Mw = w \quad (5)$$

Dessa forma, obteve-se:

$$\begin{pmatrix} 0,4287 & 0,6470 \\ 0,5713 & 0,3530 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ 1-x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ 1-x \end{pmatrix} \quad (5)$$

Ao multiplicar o primeiro membro da equação matricial acima e igualando as componentes vetoriais correspondentes, obtém-se o seguinte sistema de duas equações:

$$\begin{cases} 0,4287x + 0,6470 - 0,6470x = x \\ 0,5713x + 0,3530 - 0,3530x = 1 - x \end{cases}$$

(6)

Resolvendo o sistema acima, obtém-se  $x = 0,5310$ , ou seja, como resultado do desenvolvimento matemático em questão encontra-se o vetor de probabilidade fixo abaixo:

$$w = \begin{pmatrix} 0,5310 \\ 0,4690 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Ao utilizar o *software wxMaxima 11.04*, é possível investigar o comportamento desse sistema a longo prazo. Contudo encontra-se que a matriz  $M$  converge para o vetor de probabilidade fixo a partir da potência  $M^{24}$ . Em outras palavras, a matriz de transição  $M$  atingiu seu estado estacionário a partir da potência  $M^{24}$ .

$$M^{24} = \begin{pmatrix} 0,5310 & 0,5310 \\ 0,4689 & 0,4689 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Os resultados encontrados nesse trabalho apontam que a distribuição de probabilidade de ocorrências de anos chuvosos em Marilândia (ES) irá ser menor em relação ao número de ocorrências de anos com índices pluviométricos abaixo da média. Mais precisamente o modelo indica que daqui a 24 anos, a probabilidade de ocorrer um ano com precipitação pluvial anual abaixo da média será de 53,10%. Enquanto que a probabilidade de ocorrer um ano chuvoso, ou seja, com precipitação pluvial anual acima da média será de 46,9%. Esses resultados corroboram com os encontrados por PINHEIRO et al. (2014), que estudaram o regime pluviométrico no município de Colatina, localizado também na região noroeste do Espírito Santo, por meio do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), no período de 2000 a 2012. Os autores classificaram períodos moderadamente secos, em um ano, suavemente secos, em quatro anos, e inicialmente secos, em nove anos. ULIANA et al. (2015), utilizando-se do índice de precipitação padronizado (SPI) para caracterização do déficit e do excesso de precipitação na região norte do Estado do Espírito Santo, verificaram que nos meses mais chuvosos (novembro, dezembro e janeiro) a precipitação registrada ficou abaixo do normal havendo com isso predomínio de seca incipiente, moderada e extrema.

O fenômeno da seca tem sido qualificado por distintas formas: secas meteorológicas, hidrológicas, agrícolas e socioeconômicas (HISDAL & TALLAKSEN, 2000). O fenômeno da seca se caracteriza quando durante um determinado período de tempo a precipitação registrada nesse período é menor que a de um dado limite. E esse é exatamente o cenário de sucessivos anos com baixo índice de precipitação que está sendo previsto pela modelagem dos dados de precipitação anuais de Marilândia (ES). Deste modo, a região de Marilândia-ES assumirá um comportamento com predominância de anos secos, sendo possível enquadrá-la com potencial de risco climático futuro para as atividades econômicas, meio ambiente e sociedade.

A propósito um alerta sobre erosão hídrica para essa região certamente já pode ser prenunciado a partir dos resultados encontrados nesse trabalho. Como pode-se observar em MELLO et al., (2012), a região do Rio Doce foi classificada como de alto a muito alto potencial erosivo. Nessa região os solos, além de ocorrerem em relevo dissecado e serem pobres em nutrientes, apresentam déficit

hídrico pronunciado, dificultando o estabelecimento da vegetação e são de maior vulnerabilidade natural a erosão hídrica.

Outra eminente preocupação apontada pelos resultados desse trabalho diz respeito ao zoneamento de risco climático para o cultivo do café conilon no município de Marilândia. Pois conforme resultado encontrado, daqui a 24 anos a obrigação de suplementação de água via irrigação para o cultivo de café conilon será cada vez maior na região. Segundo SILVA et al., (2010), existe a necessidade de suplementação de água para as culturas nos meses de fevereiro a outubro, principalmente no caso das culturas não tolerantes ao elevado déficit hídrico no solo.

Um importante aspecto a ser ressaltado é que as cadeias de Markov contornam um grave problema enfrentado por pesquisadores no campo da hidrologia aplicada: a escassez de dados pluviométricos. SILVA et al., (2011), relatam que no Estado do Espírito Santo a disponibilidade de informações sobre a precipitação pluvial ainda é ineficiente, devido a baixa densidade e a má distribuição dos postos pluviométricos e/ou pluviográficos. Diante disso são consequências iminentes dessa análise: a degradação do solo, a diminuição da capacidade produtiva da agropecuária nesta região, a redução da renda agropecuária e a degradação das condições sociais da população da região.

### CONCLUSÕES

O método da Cadeia de Markov permitiu verificar que há tendência probabilística de 53,1% em ocorrer um ano com precipitação pluvial anual abaixo da média. Deste modo, a região de Marilândia-ES assumirá um comportamento com predominância de anos secos, sendo possível enquadrá-la com potencial de risco climático futuro para as atividades econômicas, meio ambiente e sociedade. Essa caracterização de redução da precipitação ao longo da série poderá ser altamente valiosa para o planejamento da produção agropecuária, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental e erosão hídrica por meio dos tomadores de decisão.

### REFERÊNCIAS

CALGARO, M.; ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X.; BERNARDON, T. Variação espaço-temporal dos parâmetros para a modelagem estocástica da precipitação pluvial diária no Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p. 196-206, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000200003>

DELGADO, R. C., & DE SOUZA, L. P. Tendência da precipitação e seu aproveitamento para fins não potáveis na Amazônia ocidental, Acre. **Nativa**, v. 2, n 4, p.208-213,2014. Disponível em <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1811/pdf>>

HISDAL, H.; TALLAKSEN, L. M., eds. Drought Event Definition: Technical Report n. 6, **Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe**, 41 p., 2000.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPPC). **Climate Change 2007 – The Physical Science Basis**, Contribution of Working Groups I to the Fourth Assisment Report os the IPCC. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007.

FISCH, O.F.; VERDUM, R.; SANCHES, O.F. O índice de anomalia de chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de**

**Geografia**, Uberlândia v. 15, n. 51 Set/2014 p. 73–84. Disponível em < <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/26423/15462>>

GALVANI, E.;LIMA, N. G. B.; ALVES, R. R.; Variabilidade e tendência das precipitações no litoral sul de São Paulo. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 1163-1176, 2016. Disponível em: < <http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/viewFile/2460/2269>>. DOI: Não Informado

LIMA, C. F.; FARIA, R. F.; MOREIRA, R. M. G.; SANTOS, R. da S.; BERILLI, S. da S. Contribuições do Passado em Auxílio ao Futuro: Técnicas de Recuperação de Áreas Afetadas por Ruptura de Barragem de Rejeito – Um Estudo De Caso. **Revista Enciclopédia Biosfera**. v.13 n.23; p. 359-368. 2016. DOI: 10.18677/Enciclopedia\_Biosfera\_2016\_031.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** n 37: 37-44, 2013. Disponível em < <http://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2013/02/V37N1a04.pdf>>

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; CURI, N.; SILVA, A.M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do espírito santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n 36:1878-1891, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600022>

PITELIS, C. N. Towards a More 'Ethically Correct' Governance for Economic Sustainability. **Journal of Business Ethics**. Cambridge, Reino Unido. Janeiro, 2013. Doi: 10.1007/s10551-012-1616-8

PINHEIRO, M. A. B.; PINHEIRO, A. A. B.; OLIVEIRA, E. C.; POSSE, R. P.; NEVES, L.O. Relação do índice de severidade de seca de Palmer com a produtividade do feijoeiro na microrregião de Colatina-ES. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2616-2623,2014. DOI: Não Informado.

QIN, W., LIN,X. Regional trends in recente precipitation indices in China. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v 90, p. 193-207, 2005. DOI: 10.1007/s00703-004-0101-z

SILVA, J.G.F.; RAMOS, H.E.A.; IGREJA, G.C.; FREITAS, R.A.; ROCHA, G.A. Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Marilândia – ES. **XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010** 25 a 29 de julho de 2010 - Vitória - ES, Brasil.

SILVA, K.R.; CECÍLIO, R.A.; XAVIER , A.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; GARCIA, G.O. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santo. **Revista Floresta e Ambiente** 2011; 18(4):417-427. doi 10.4322/loram.2011.061

PIVETTA, M. Um Brasil mais vulnerável no século XXI. **Revista Fapesp**. V.249, p.16-23, 2016. Disponível em < [http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2016/11/016-023\\_CAPA\\_Desastres\\_249.pdf?e89930](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2016/11/016-023_CAPA_Desastres_249.pdf?e89930) >



ULIANA, E. M., REIS, E. F., SOUZA, A. P., SILVA, J. G. F., XAVIER, A. C. Utilização do índice de precipitação padronizado para a região norte do estado do Espírito Santo. **IRRIGA**, v. 20, n. 3, p. 414, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p414>