



Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade  
Versão on-line ISSN2319-2856  
Volume 10, número 5. Curitiba – PR. Jan/maio - 2016

## ***Variabilidade pluvial, eventos extremos e alterações ambientais no corredor da rodovia D. Pedro I – Tamoios no período de 1983-2012***

Erika Ferreira Moura  
[erika.moura03@gmail.com](mailto:erika.moura03@gmail.com)

Geógrafa, mestre em Análise Ambiental e Dinâmica Territorial, Doutoranda do programa interdisciplinar Ambiente e Sociedade do Núcleo de Pesquisas Ambientais –NEPAM.

Sônia da Cal Seixas  
[srcal@unicamp.br](mailto:srcal@unicamp.br)

Doutora em Ciências Sociais (UNICAMP), Pós-doutora pela University of Reading. Professora e pesquisadora do Programa de Doutorado Ambiente & Sociedade, do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais NEPAM – UNICAMP. Bolsista de Produtividade Pq-CNPq.

Camila da Silva Dourado  
[milasdourado@gmail.com](mailto:milasdourado@gmail.com)

Engenheira Agrônoma. Doutoranda em Gestão de Sistemas na Agricultura e Desenvolvimento Rural pela Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI / UNICAMP.

Recebido em: 04/05/2015  
Aceito em: 22/04/2016

### **RESUMO**

O conhecimento das condições climáticas, identificando regiões com maiores riscos de ocorrências de eventos extremos, que possam impactar os diversos setores socioeconômicos e ambientais, tornou-se um grande desafio. No Brasil as maiores ocorrências de eventos extremos estão relacionadas aos fenômenos hidrológicos. Diante da grande velocidade da urbanização sem planejamento e conseqüente degradação do meio ambiente, as populações se tornam cada vez mais vulneráveis as catástrofes relacionadas às chuvas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi utilizar técnicas de mineração de dados para analisar a frequência das ocorrências dos eventos extremos de precipitação durante o período de 1983 a 2012 em dez municípios que se encontram ao longo do corredor rodoviário D. Pedro I – Tamoios. Por meio da ferramenta de Mineração de Dados, foi possível identificar os anos com mais ocorrência de eventos extremos dentro do período estudado e colocá-los em contraposição com os anos de registro de maiores problemas municipais relacionados com inundações, enchentes ou deslizamentos de terra. Os resultados reforçam a potencialidade da técnica de mineração de dados e sugerem ainda, que os desastres estão muito mais relacionados com o mau planejamento das cidades e com a pouca preservação ambiental, do que com eventos pluviais extremos.

**Palavras-Chave:** Eventos Extremos, Mineração de Dados, Rodovia D. Pedro I- Tamoios

## **Pluvial variability, extreme events and environment alterations in the D. Pedro I – Tamoios transport corridor from 1983 to 2012**

### **ABSTRACT**

Knowing the weather conditions in order to identify areas that are more likely to have extreme events and that can affect several socio economic and environmental areas has become a significant challenge. In Brazil, most extreme events are related to hydrologic phenomena. Unplanned urbanization, which leads to the environment degradation, has taken place quite quickly then society becomes more and more vulnerable to catastrophes related to the rain. Within such context, the objective of the following study was to use data mining techniques to analyze the frequency of precipitation extreme events from 1983 to 2012 in ten counties that are located along the D. Pedro I – Tamoios transport corridor. It was possible to identify, through the Data Mining tool, the years with most occurrence of extreme events within the period studied and compare them to the years with most municipal issues related to inundation, floods, and landslides. The results reinforce the technical mining data potentiality and suggest that the disasters are more related to bad urban planning with low environment preservation than to extreme pluvial events.

**Key words:** Extreme Events, Data Mining, D. Pedro I- Tamoios road.

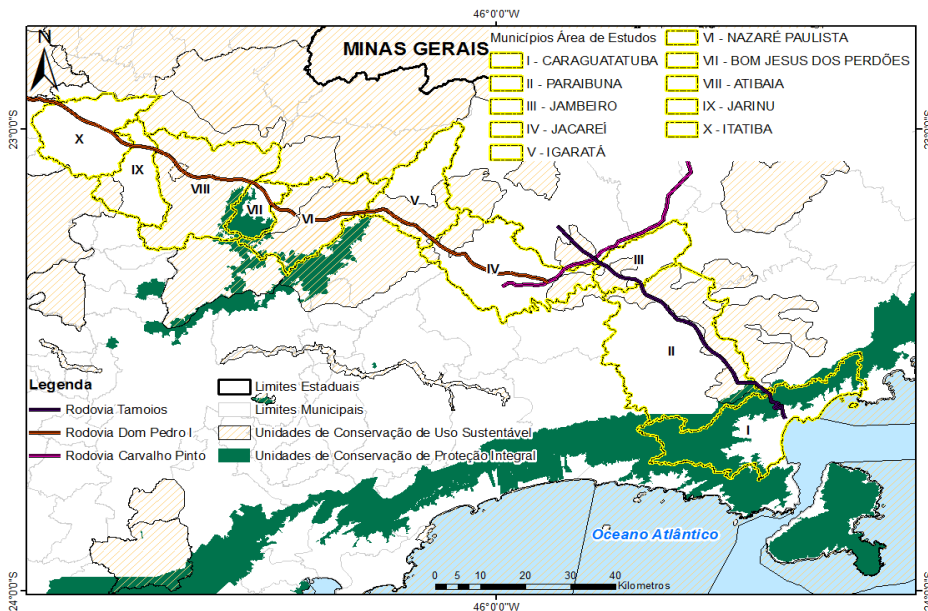
### **INTRODUÇÃO**

O acelerado processo de urbanização do estado de São Paulo contribuiu para uma maior ocupação de áreas de vegetação, trazendo aumento da suscetibilidade ambiental de alguns locais, bem como o aumento das vulnerabilidades das populações a problemas advindos de fenômenos atmosféricos como inundações e escorregamentos de massa. Esse quadro se manifesta não apenas nos grandes centros urbanos, mas também nas cidades médias e pequenas.

Neste contexto, este estudo pretendeu correlacionar, de forma qualitativa e quantitativa, os eventos extremos deflagradores de problemas ambientais (precipitações), suas consequências no meio (alagamentos, inundações, quedas de energia, danos estruturais) e sua relação com o crescimento gerado pela fundação e duplicação do corredor de exportação da Rodovia D. Pedro I e Tamoios. A escolha da área de estudo (Figura 1), levou em consideração o fato importante de o corredor supracitado ter como função escoar produtos de importação e exportação de todo interior de São Paulo e de percorrer áreas dos municípios de Itatiba, Jarinu, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Nazaré Paulista, Igaratá, Jacareí, Jembeiro, Paraibuna, Caraguatatuba e São Sebastião (BRAGA,

2008; BRAGA; TREVISAN, 2010). Todavia, observa-se também que as rodovias trouxeram a seu entorno um maior grau de urbanização que pode vir a alterar seu microclima, principalmente pelo aumento da frota de veículos e consequente aumento da poluição, maior grau de urbanização dos municípios e o fato das rodovias cortarem, ou estarem próximas à áreas de preservação ambiental ou ecossistemas frágeis incluídos em diversas Unidades de Conservação, tais como a Área de Proteção Ambiental do Sistema Cantareira e o Parque Estadual da Serra do Mar, podendo gerar alterações e impactos ambientais significativos.

**Figura 1:** Eixo rodoviário, municípios e unidades de conservação na região de estudo, 2013.



**Fonte:** Projeto Saúde Mental, Violência e Mudanças Ambientais Globais urbanas no Corredor de Exportação Tamoios- D. Pedro I, 2013

Por meio da ferramenta *Data Mining*, procuramos identificar zonas pluviometricamente homogêneas nos municípios ao longo do corredor das Rodovias D. Pedro I- Tamoios para os períodos de 1983 a 2012 e identificar os anos com mais ocorrência de eventos extremos dentro desse intervalo de tempo e colocá-los em contraposição aos anos de registro de maiores problemas municipais relacionados com inundações, enchentes ou deslizamentos de terra. Em suma, a tentativa do trabalho foi reforçar a potencialidade da técnica de mineração de dados como ferramenta de apoio para análises

quantitativas de pluviosidade e comprovar que nem sempre os eventos extremos são os maiores deflagrações de desastres nos municípios estudados.

## **METODOLOGIA**

Tendo em vista que o corredor de exportação da Rodovia D. Pedro I – Tamoios corta dez municípios, e sua recente duplicação causou o aumento da urbanização trazendo uma série de alterações socioambientais, teve-se como principal tarefa dessa pesquisa, fazer a análise da variabilidade pluvial dos municípios estudados, bem como o levantamento do acontecimento de eventos catastróficos relacionados às chuvas e por fim comparar se os registros de eventos extremos coincidem com os registros de grandes problemas de enchentes, inundações e deslizamento de terra, para tanto, utilizamos as seguintes etapas:

### **Análise da variabilidade pluvial**

Utilizamos a metodologia da Mineração de Dados também conhecida como *Data Mining*, que é o processo de explorar grandes quantidades de dados à procura de padrões consistentes, como regras de associação ou sequências temporais, para detectar relacionamentos sistemáticos entre variáveis, detectando assim novos subconjuntos de dados (CHAPMMAN, et.al, 2000). Utilizamos os dados de 17 estações meteorológicas adquiridas em duas bases de dados sendo da Agência Nacional de Água (ANA), no sistema de informações hidrológicas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>), (ANA, 2008) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE).

O conjunto de dados foi construído em formato *Excel*, sendo os dados de chuva obtidos dos arquivos *Access*, formando uma só planilha com as linhas representando as estações meteorológicas e colunas representando os 30 anos de dados. O período de 30 anos é comumente utilizado na climatologia para se configurar uma análise de série histórica, onde uma possível mudança climática pode ser perceptível (MENDONÇA et al., 2007).

O programa computacional utilizado para as análises foi o Weka® (WITTEN e RANK, 2005), na versão 3.5. Weka é um pacote de software usado em problemas de descoberta

de conhecimento, composto de uma coleção de algoritmos nas áreas de aprendizado de máquina e mineração de dados. É um software livre que está disponível sob licença GNU (General Public License).

Por meio da modelagem realizada, definimos duas zonas de dados homogêneos e em cada uma dessas zonas analisamos a variação das chuvas em escala mensal e anual, essa análise foi feita através da técnica chamada Quantil, onde encontramos a média de precipitação para um determinado local e decidimos os limiares para considerar um período muito chuvoso ou muito quente.

Entende-se que os limiares de chuva variam entre áreas pluviométricas e por isso utilizamos uma classificação rigorosa para cada município conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Limites de classificação anual para identificação de eventos extremos “Muito seco” e “Muito chuvoso” para os sete municípios.

Municípios	Limiares de Eventos Extremos	
	Muito Seco Q (0,15)	Muito Chuvoso Q (0,85)
Atibaia	P<1267	P>1652
Caraguatatuba	P<1455	P>2134
Igaratá	P<1233	P> 1720
Jacareí	P< 1082	P> 1614
Nazaré Paulista	P<1120	P>1729
Paraibuna	P<1120	P> 1588

## ANÁLISE DE DADOS

A atmosfera é dinâmica por sua própria natureza e segue um ritmo composto por eventos usuais e eventos extremos, anômalos ou excepcionais. Os eventos usuais são registrados com maior frequência, possibilitando a sua absorção pelas sociedades que se adaptam ao seu ritmo natural, sendo que estes eventos não distanciam de maneira significativa da média (BARBOSA, 2007). Entretanto, os eventos extremos de chuva são aqueles em que os valores apresentaram desvios de chuva superiores ou inferiores ao comportamento usual. Segundo Barbosa (2007), estes eventos têm ocorrências com

incidência rara, se distanciando da média, variando em sua magnitude. Os eventos climáticos extremos são responsáveis pelas principais catástrofes naturais atuais. Visto isso, as anomalias nos padrões de chuva encontradas ao longo do período foram relacionadas com as alterações na ocupação do solo decorrentes da implantação das rodovias D. Pedro I e Tamoios. Realizamos um diálogo entre os extremos encontrados com a análise dos gráficos e problemas relacionados com as chuvas, tais problemas foram levantados por meio das informações obtidas pela Defesa Civil das cidades participantes do estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação das técnicas de agrupamento de mineração de dados permitiu a identificação de dois grupos de municípios com variabilidade pluvial parecidas (*clusters*).

O primeiro grupo é representado por nove dos dez municípios estudados, sendo eles: Atibaia, Jambeiro, Bom Jesus dos Perdões, Igaratá, Itatiba, Jarinu, Nazaré Paulista, Jacareí, Paraibuna. Em termos climáticos, este Grupo está em área de transição entre a região de domínio das massas tropicais e polares e das massas equatoriais e tropicais, e estando próxima da Serra da Mantiqueira, apresenta clima úmido exposto às massas tropicais, com influência do relevo e das correntes atmosférica nas precipitações (MONTEIRO, 1991), com médias anuais de 1.350 mm, mais concentradas no verão. Atibaia sofre influência dos seguintes sistemas meteorológicos (MONTEIRO, 1991):

- i) Frente polar; sendo responsável pelo maior número de precipitações, inclusive no verão;
- ii) Linhas de instabilidade: ocorrem principalmente quando há o encontro do ar úmido do oceano com o ar seco, sempre antecedendo a chegada de uma frente polar;
- iii) Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul e Sistema de Baixa Pressão;
- iv) Sistema de mesoescala e escala regional: são formados devido à ação das forças orográficas que atuam no local, podem provocar tempestades severas.

Acrescenta-se, ainda, que assim como o restante do estado de São Paulo, este grupo, experimenta períodos de chuva contínua devido à formação de ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul, que interconecta umidade do Atlântico e da Amazônia e, portanto, vários processos atmosféricos atuam na região na promoção de precipitação, fato esse que será discutido adiante.

O segundo grupo possui um único município, que apresentou dinâmica diferenciada no processo de *clusterização* do *Data Mining*, foi Caraguatatuba. Seu clima como de grande parte do litoral do estado de São Paulo é caracterizado como tropical, sem estação seca definida, com diminuição das chuvas durante o inverno e com verões muito úmidos.

A Serra do Mar, em seu trecho ao longo do litoral paulista, tem como um de seus aspectos climatológicos mais marcantes, a influência da orografia nos totais de precipitação (PELLEGATTI, GALVANI, 2010, p. 147). Em particular, no litoral norte, devido à proximidade da Serra do Mar com a orla, os valores pluviométricos são maiores do que no litoral sul. SANT’ANNA NETO (1994) afirma que pela localização latitudinal e o fato de ser uma zona de transição onde ocorrem os embates de massas tropicais e polares, a região é importante local de atuação de sistemas atmosféricos.

Para caracterizar o regime pluviométrico no litoral de São Paulo, BARBOSA (2007) utiliza-se da divisão da região em setores com base nos trabalhos de MONTEIRO (1991), que segue “padrões climáticos em escalas zonais e regionais: o litoral norte de clima zonal controlado por massas equatoriais e tropicais é regionalmente caracterizado por climas úmidos resultantes da exposição da costa a sistemas tropicais.” (BARBOSA, 2007, p. 3 e 4). Segundo MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA (2007), a sazonalidade dos sistemas convectivos de macro e mesoescala afeta diretamente a distribuição e a variabilidade de chuvas no Brasil, inclusive no recorte aqui analisado.

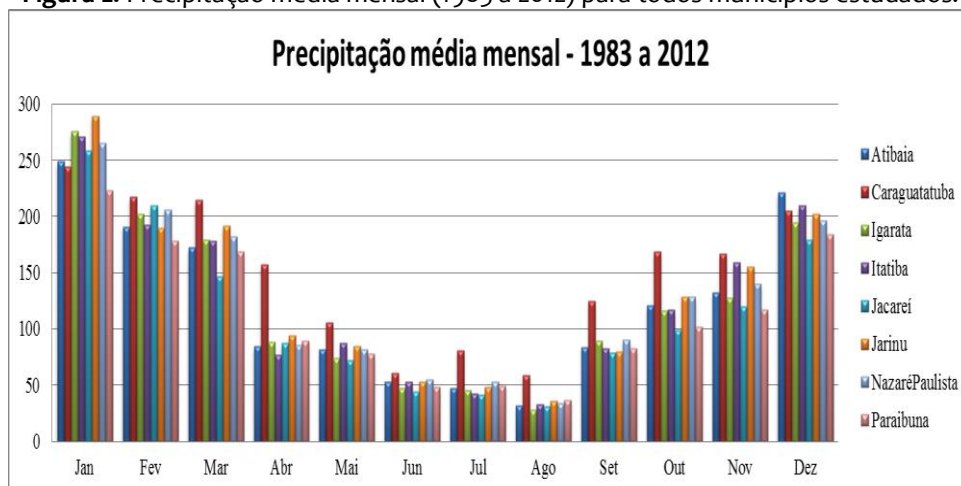
Além da identificação dos *clusters* fizemos o perfil geral dos municípios estudados<sup>1</sup> durante o período de 1983-2012. Verificamos na Figura 2, que os períodos de maior quantidade de chuvas são no verão, e Caraguatatuba apresenta a maior quantidade de chuvas durante todo ano se comparado com os demais municípios.

---

<sup>1</sup> Para Bom Jesus dos Perdões e Jambeiro, não foi encontrado base de dados suficientes no banco de dados da ANA e nem do DAEE, o que impossibilitou a análise individual para esses dois municípios.



Figura 2: Precipitação média mensal (1983 a 2012) para todos municípios estudados.



Fonte: Elaboração própria

Para a análise de eventos extremos de precipitação em diferentes escalas temporais, foram utilizadas escalas temporais (anual, mensal e diária) identificando através da Técnica dos Quantis, limiares superiores e inferiores de intensidade de chuva em cada região homogênea, para cada escala temporal. Na escala mensal, foram identificados padrões sequenciais das ocorrências dos eventos extremos positivos e negativos ao longo dos trinta anos. Considerando os dados de precipitação anuais, resultando na classificação e identificação dos anos com ocorrência de eventos extremos de chuva.

Observou-se que a ocorrência de anos muito secos ou muito chuvosos (extremos) não apresenta similaridade em todos os municípios, apesar de geograficamente próximos. Em outras palavras, um ano considerado seco para um município pode ser considerado chuvoso em outra área, mesmo que próxima. Resultados semelhantes foram encontrados por SOUZA et al. (1992) e MONTEIRO et al. (2012) ao identificar eventos extremos no estado de Alagoas, Ceará respectivamente.

A identificação dos anos com ocorrência dos eventos extremos (muito seco e muito chuvoso) para todos os municípios é representada na Tabela 2. Estudos relacionados ao histórico de chuvas e problemas relacionados para a região corroboram com a maioria dos resultados encontrados com a técnica do Quantil (CARVALHO, 1994).



**Tabela 2:** Identificação dos anos com ocorrência de eventos extremos.

Municípios	Identificação dos Anos com Eventos Extremos (Quantil 15-85)	
	Muito Seco	Muito Chuvoso
Caraguatatuba	1984, 2001 e 2009	1995, 1996, 2005, 2010 e 2011
Atibaia	1984, 1985 e 2010	1983, 1993 e 1994
Igaratá	1984, 1990, 2000, 2007	1983, 1991, 1995 e 2009
Jacareí	1984, 1990 e 2003	1983, 1986 e 1995
Nazaré Paulista	1984, 1985 e 1999	1983, 1984 e 2003
Paraibuna	1984, 2007 e 2008	1983, 1995 e 1996
Jarinu	1984, 1985, 2002	1983, 1995 e 2011

Analisando os dados disponibilizados pela Defesa Civil de cada cidade sobre eventos catastróficos deflagrados por chuvas, verificamos que os maiores problemas encontrados não ocorreram nos anos de registros de eventos extremos (muito chuvoso). De acordo com os documentos verificados, os maiores problemas registrados principalmente de inundações se referiam a crescente ocupação de áreas de várzea causada pelo grande aumento populacional e de densidade demográfica (SEADE, 2013) e aos problemas de escoamento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constata-se uma alta variabilidade entre os extremos de precipitação nos municípios durante os trinta anos estudados. Em Atibaia, por exemplo, observou-se que o ano de 1983 é considerado um ano muito chuvoso, entretanto, os registros da Defesa Civil do município apontam a diminuição da vazão dos rios neste mesmo ano e nenhum registro de enchentes, além de sinal de alerta para questões de abastecimento.

Foi possível observar que os anos identificados como “muito chuvosos” ou “muito secos” tiveram algumas variações apesar da proximidade geográfica dos mesmos, com variação dos anos de registros desses eventos extremos. Ademais, alguns anos como 1983 e 1995 apresentaram volumes pluviométricos parecidos nos municípios, considerados como “muito chuvoso”.

Caraguatatuba aparece como o município com maior volume pluviométrico, porém nos anos apontados como de maior volume (1995, 1996, 2005, 2010 e 2010), apenas em 2005 e 2010, a prefeitura do município registrou um maior número de registros de deslizamentos e problemas com inundações.

É certo que o aumento da urbanização tem como consequência alterações ambientais no meio físico e, portanto, nas questões atmosféricas. A implantação do corredor das Rodovias D. Pedro I - Tamoios corrobora para a modificação do seu entorno ambiental, essa modificação afeta muito mais a população em termos de impactos relacionados à chuva do que a quantidade pluvial propriamente dita. O estudo mostra que a maioria dos desastres registrados na cidade e relacionados à chuva não coincidem com os períodos de registro de eventos extremos, sendo relacionados, geralmente à problemas de crescimento urbano desordenado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a colaboração da FAPESP, e ao projeto n 2013/17173-5 do qual esse trabalho faz parte.

## **BIBLIOGRAFIA**

ANA – Agência Nacional das Águas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: outubro 2014.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo. Disponível em: <http://daee.gov.sp.br> Acesso em: dezembro de 2014.

BARBOSA, J. P. M. **Caracterização do regime pluviométrico do litoral do estado de São Paulo segundo repartições propostas por Monteiro (1973)**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

CARVALHO, O. de O. O impacto social da seca. In: Conferência Nacional Latino-Americana da Desertificação. **Anais...** Fortaleza, 1994, 23p.

CHAPMAN,P; CLINTON,J.; KERBER,R.; KHABAZA, T.; REINARTZ T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. **CRIP-DM 1.0: STEP-BY-STEP DATA MINING GUIDE**. Illinois: SPSS, 2000. 78p.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D.C.R.; Métodos de interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas no estado de mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. N.4, 793-804p. 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 6ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, C.A. de F. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 241, p. 1991.

MONTEIRO, J.B.; ROCHA, A.B.; ZANELLA, M.E. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e anos chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi – Mossoró/ RN. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v.23, p.232- 249, 2012.

PELLEGATTI, C.H.G; GALVANI, E. **Avaliação da precipitação na Serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidade e duração**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, N° 27, pp. 147 - 158, 2010.

SANT'ANNA NETO, J.L. Dinâmica Atmosférica e o Caráter Transicional do Clima na Zona Costeira Paulista. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, São Paulo, v. 8, p. 35-49, 1994.

SOUZA, J.L.; de AMORIM, R.F.C.; CARVALHO, S.M.R.; PEREIRA, J.O. CURI, P.R.C. Agrupamento de estações pluviométricas do estado de Alagoas, utilizando-se da análise multivariada. **Rev. Brasileira de Meteorologia**, v.7, n.2, p. 603-12, 1992.

WITTEN, L. H.; FRANK, E.; HALL, M.A. **Data Mining: practical machine learning tools and techniques**. 3<sup>rd</sup> ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2011.629p.