

## XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

# TIPIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE CHUVAS INTENSAS EM FUNÇÃO DO POSICIONAMENTO DA INTENSIDADE E FATORES DETERMINANTES PARA O MUNICÍPIO DE BARREIROS NO ESTADO DE PERNAMBUCO.

*José Aécio Corrêa de Araújo<sup>1</sup> ; Andréa Catarina Nascimento da Fonseca<sup>2</sup> & Marcus Metri  
Corrêa<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O município de Barreiros, localizado na microrregião da Mata Sul pernambucana, é detentor dos maiores índices de precipitação pluviométrica do Estado. A sua proximidade da costa atlântica conjuminada às características fisiográficas locais são, certamente, fatores determinantes do comportamento pluviográfico aí incidente. Nesse aspecto, o conhecimento das características das chuvas do município é de grande relevância para o planejamento das medidas de controle de enchentes e, bem assim, do combate aos efeitos da erosividade das precipitações pluviais.

Com o uso das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), não obstante os curtos períodos temporais de dados existentes, a qualidade dos mesmos enseja a aplicação de métodos com maior profundidade e amplitude de informação, consubstanciando resultados mais confiáveis e seguros para as informações técnicas e científicas que se intenta obter como subsídio à mitigação e à solução de diversos problemas na área da engenharia hidrológica. O trabalho teve como objetivo tipificar os padrões de precipitações, tipificar os padrões de precipitações, segundo posicionamento da máxima intensidade durante as chuvas intensas, no município de Barreiros na Mesorregião da Mata do Estado de Pernambuco Caracterizar, as chuvas intensas erosivas; identificar as chuvas intensas segundo a localização da intensidade no decorrer da precipitação; indicar os fatores determinantes dos eventos de chuvas intensas segundo sua tipologia.

**ABSTRACT**– The city of Barreiros, located in the micro South Forest of Pernambuco, is the detainer of the highest levels of rainfall in the state. Its closeness to the Atlantic Coast joined to the local physiographic features are certainly determinants of the pluviometric behavior incident. In this aspect, the knowledge of rainfall characteristics of the city is very important for the planning of flood measures control and, as well as combating the effects of rainfall erosivity. With the use of Data Collection Platforms (DCPs), despite the short time periods of existing data, their quality entails the application of methods in greater depth and breadth of information, consolidating more reliable and safe results for the technical information and science that tries to intended as a subsidy to achieve mitigation and the solution of various issue in engineering hydrology.

---

1) José Aécio Corrêa de Araújo é Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE. CEP: 52171-900. E-mail: [jacorreadearaujo@gmail.com](mailto:jacorreadearaujo@gmail.com)

2) Andréa Catarina Nascimento da Fonseca é aluna de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE. CEP: 52171-900. E-mail: [andreafonseca\\_@hotmail.com](mailto:andreafonseca_@hotmail.com)

3) Marcus Metri Correa é Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE. CEP: 52171-900. E-mail: [mmetri@ig.com.br](mailto:mmetri@ig.com.br)

This task aim was to to typify the patterns of precipitation, the second position of maximum intensity for the heavy rains in the city of Barreiros in mesoregion Forest and also to characterize the heavy erosive rainfall, identifying the heavy rains followed by the location of intensity during rainfall and indicate the determinants of heavy rainfall events according to their typology.

**Palavras-Chave** – Tipificação, chuva, Barreiros.

## **1 - INTRODUÇÃO**

As abordagens dos estudos de chuvas intensas, sejam a nível nacional ou internacional, em geral, levam em consideração as suas grandezas características intensidade, duração e frequência. Adicionalmente, os padrões são enfocados, considerando suas durações em minuto, hora, dia, mês, ou ano. Desse modo, as metodologias utilizadas nos diversos ramos e campos de interesse da engenharia, como dimensionamento de obras diversas, previsões de tempo de recorrência, cálculo de risco, dentre outros, são abordadas naquelas durações. Vale registrar, ainda, que em certos estudos leva-se em consideração somente a precipitação total de uma chuva. É importante verificar que chuvas de iguais durações, como também de alturas idênticas, podem ter efeitos diversos, em função da sua intensidade, e da posição desta grandeza na precipitação. Nesse contexto, o potencial energético de um evento de chuva varia na medida em que a máxima intensidade se posiciona no decorrer da mesma. Racionalmente, espera-se que o escoamento superficial tende a aumentar na medida em que a umidade do solo seja incrementada, em decorrência do decréscimo da infiltração que se dá na proporção em que o solo tende para a saturação. Nesse aspecto, em um determinado momento da chuva, a sua erosividade será aumentada em decorrência da sua intensidade máxima, que é subestimada quando se considera esta grandeza em termos médios. Na mesma linha de raciocínio, pode ser considerada a vazão de projeto, quando calculada a partir de dado médio da precipitação. Em assim sendo, guardados os aspectos particulares, da mesma forma como o pico da vazão de uma cheia varia com o sentido do deslocamento do evento da chuva dentro de uma bacia hidrográfica, o posicionamento da intensidade no decorrer da chuva percute de forma diferenciada. Com efeito, é de fundamental importância a tipificação das chuvas naturais de cada região, em função do posicionamento do pico da intensidade, para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e água, bem como a determinação do período de retorno das mesmas, envolvendo cada padrão.

Por outro lado, a importância da determinação dos fatores climáticos, que contribuem nas diferentes formas de comportamento das chuvas que caracterizam os seus padrões, consubstancia o conhecimento de causa e efeito, dando maior vigor à construção da informação que se intenta passar aos interessados no assunto.

Nesse contexto, é de bom alvitre tecer considerações em busca da importante compreensão da diferença básica entre clima e tempo. Nesse aspecto, e de modo indelével, o clima pode ser entendido como um conjunto de elementos estudados através de registros meteorológicos ao longo de muitos anos, enquanto que o conceito de tempo pode ser visto como a experiência atual, momentânea, ou seja, que expressam as condições atmosféricas observadas em um determinado instante na atmosfera. De acordo com Borsato (2000), apud Cunha e Vecchia, (2007), os atributos ou os elementos climáticos em um determinado local da superfície terrestre, em um dado momento, são: temperatura do ar, pressão atmosférica, tensão do vapor de água, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, radiação solar global, campo elétrico, corrente elétrica vertical, íons positivos e negativos, nebulosidade, visibilidade horizontal e poeiras. Ressalte-se que, todos eles, atuam de forma conjunta e simultânea, podendo ser considerados como propriedades específicas de cada sistema atmosférico, isto é, da atuação de cada massa de ar.

O clima vem assumindo um posto de destaque nas últimas décadas, sobretudo com a crescente preocupação com a degradação ambiental e com a contínua depleção dos recursos naturais, sendo considerado elemento chave, capaz de direcionar as ações do homem, que é o agente, a princípio, teoricamente apto a intervir no ambiente. Nesse sentido, o clima é um dos aspectos que expressam a relação entre a sociedade e a organização econômica e social do espaço urbano, já que, por um lado, eventos extremos que estejam ligados à temperatura ou às precipitações, fora dos padrões normais, repercutem na qualidade de vida da população que habita as grandes cidades, Mendes (2001). Por outro lado, o espaço físico atua como fator geográfico de modificação das condições iniciais do clima, alterando, assim, as propriedades inerentes aos sistemas atmosféricos atuantes sobre uma dada região.

A visualização de encadeamentos atmosféricos depende, basicamente, das respostas locais colhidas nas variações diárias e horárias de elementos do clima (medições em superfície, por meio de estações e postos meteorológicos), nas cartas sinóticas do tempo (pressões reduzidas ao nível do mar e, se necessário, as dos principais níveis isobáricos) e nas imagens fornecidas por satélites meteorológicos. Entretanto, o simples acesso a esse banco de dados não é suficiente. Faz-se necessária a correta interpretação dos valores para o real entendimento dos processos.

Os efeitos, positivos ou negativos, do clima sobre o homem e as repercussões sobre suas atividades e o meio ambiente são de natureza diversa. Particularmente para o meio rural, destaca-se o fenômeno da erosão do solo, acarretando perdas consubstanciadas na diminuição da fertilidade e deformações superficiais que dificultam o manejo e aproveitamento das terras agrícolas. Dentre os fatores que afetam a erosão, a chuva é o que tem maior variabilidade no tempo e espaço. A erosividade da chuva pode ser determinada por vários parâmetros, dentre os quais se destaca o  $EI_{30}$ ,

que é definido como o produto da energia cinética total pela intensidade máxima de 30 min. Esse índice é considerado adequado para as condições dos Estados Unidos, (Wischmeier 1959) e para as condições do Rio Grande do Sul, (Morais et al. 1988).

Não obstante a dificuldade de se encontrar na literatura universal, atual, escritos que abordem os padrões de chuvas intensas de acordo com sua intensidade, desde décadas passadas elas foram tipificadas com esse enfoque, tendo em vista a importância e racionalidade que lhes são impostas. Com efeito, a classificação em: padrão avançado, intermediário e atrasado, respectivamente, em função da localização dos picos de maior intensidade, no início, meio ou fim do período de duração da chuva, já era vislumbrada, em base teórica por Horner & Jens (1941). Vale destacar que esses estudiosos já chamavam a atenção para a necessidade da melhoria e de avanços tecnológicos na obtenção dos dados climáticos, com vistas à ampliação e maior substância do conhecimento e resultados de sua aplicação.

De forma percuciente, é válido reiterar que, em uma região, o total pluvial anual poderá ser representado por um conjunto de chuvas de baixa intensidade e frequentes e, em outra região de igual precipitação anual, duas ou três chuvas de alta intensidade podem representar até 80% da chuva caída, segundo Wischmeier (1962). Nesse último caso, se as condições são semelhantes nos demais aspectos, o processo erosivo, por exemplo, será mais intenso.

É nesse contexto o trabalho proposto foi realizado, de considerando os aspectos marcadamente importantes na tipificação das chuvas consideradas intensas, em função do posicionamento da sua maior intensidade no período de duração da precipitação. Os objetivos principais foram tipificar os padrões de precipitações, segundo posicionamento da máxima intensidade durante as chuvas intensas, no município de Barreiros na Mesorregião da Mata do Estado de Pernambuco, caracterizar, as chuvas intensas erosivas, identificar as chuvas intensas segundo a localização da intensidade no decorrer da precipitação e indicar os fatores determinantes dos eventos de chuvas intensas segundo sua tipologia.

## **2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Considerações iniciais:**

Nos trabalhos hidrológicos em geral, interessa não somente o conhecimento das precipitações referentes a determinados períodos temporais, e suas médias diárias, mensais, anuais, ou máximas e mínimas observadas nas séries históricas. É importante obter dados de forma a contribuir com o conhecimento de fenômenos marcadamente impactantes sobre a sociedade e atividades iminentes, com condições de previsão, valendo-se dos princípios da probabilidade, como

as intensidades máximas das chuvas e desta grandeza característica dentro das precipitações, relacionadas com suas durações, que podem vir a ocorrer em certa localidade, com determinada frequência. Como as informações observadas, na atualidade, são restritas a períodos de observação, geralmente inferiores aos compatíveis em projetos e, adicionalmente, indisponíveis na essência e espacialidade desejadas, há necessidade de usar recursos outros, como transposições de dados, desagregação de chuvas e outros métodos que nem sempre proveem a eficácia que se intenta. Nesse contexto é levado em conta o tratamento estatístico a ser utilizado, sob a pena de incorrer em informações não compatíveis com o grau de confiabilidade que se pretende alcançar.

Por outro lado, os eventos ditos extremos, são abordados sem que os correlacionem com os fatores determinantes, de modo a substanciar a informação e, adicionalmente, estabelecer marcos que subsidiem futuros trabalhos com vistas às suas vinculações com as possíveis mudanças climáticas. Estas são, atualmente, alvo de interesse universal, no afã de conhecer causas e estabelecer possíveis relações com ações antrópicas, de forma a evitar sofismas e prover meios de mitigação.

## **2.2 - As abordagens tradicionais**

A distribuição de Gumbel, segundo Koutsoyiannis (2004) foi o modelo predominante para a quantificação do risco associado à precipitação extrema. Na visão desse autor, vários argumentos, incluindo a fundamentação teórica e as evidências empíricas, permitem assentir a debilidade para apoiar a adequação da distribuição de Gumbel. Estes argumentos foram examinados minuciosamente e postos em questionamento em seu trabalho. Especificamente, as análises teóricas mostraram que a distribuição de Gumbel é bastante improvável que se aplique a extremos hidrológicos, e sua aplicação pode menosprezar o risco, uma vez que subestima, seriamente, o maior índice pluviométrico extremo.

### **2.2.1 – Chuvas intensas e relações das grandezas características**

Para a utilização prática dos dados de chuva nos trabalhos de Engenharia, faz-se necessário conhecer a relação entre as grandezas características: intensidade, duração e frequência. Vale informar que, na literatura universal relativa aos padrões de chuva, o enfoque é primordialmente voltado para as relações de intensidade/duração/frequência em conjunto ou de forma isolada, retratando mudanças espaciais nas características.

As grandezas intensidade e duração são inversamente proporcionais e a relação entre elas pode ser obtida da análise de registros pluviográficos. Os dados de chuvas intensas são obtidos dos registros de pluviogramas, sob a forma pluviográfica ou, também, mediante dados de altura em milímetro e fração, com o tempo em função da capacidade da balsa do pluviômetro, com o registro da hora em que se deu o alcance do seu enchimento. No primeiro caso tem-se o resultado do pluviógrafo tradicional, enquanto a segunda forma é própria dos modernos aparelhos utilizados nas Plataformas de Coleta de Dados (PCD). Em assim sendo, podem ser obtidos diagramas de precipitações ao longo da sua duração, indicando a variação da intensidade.

Tradicionalmente analisam-se as relações intensidade/duração/frequência das chuvas observadas, determinando-se para os diferentes intervalos de duração da chuva, a sua intensidade a partir de equações, nas quais o número de parâmetros é fundamental para melhor caracterização das informações desejadas. O estabelecimento de tais relações, segundo Le Minh Nhat (2006), foi feito por Bernard, em 1932. Usualmente tem-se o emprego de equações do tipo:

$$i = C/(t - t_0)^n \quad (1)$$

Sendo:  $i$  a intensidade média para a duração  $t$ , e  $t_0$ ,  $C$  e  $n$  parâmetros a determinar de acordo com a localização e características das chuvas.

Certos autores procuram relacionar  $C$  com o período de retorno  $T$  por meio de uma equação do tipo  $C = k T^m$  e, com isso, expressam a equação anterior na forma mais geral,

$$i = k T^m / (t + t_0)^n \quad (2)$$

Os parâmetros da equação de chuva podem ser determinados a partir de dados do pluviógrafo. Nesse caso, os eventos extremos das diversas durações podem ser isolados, dando base à obtenção de valores de intensidades de chuvas a partir de dados diários dos pluviômetros. Vale ressaltar, que os trabalhos de Pfafstetter (1957) e de Taborga (1975) são pioneiros na abordagem do assunto, respectivamente, a níveis micro e macro visão espacial.

Existem, na atualidade, diversas fórmulas obtidas por estudiosos e, adicionalmente, por instituições públicas, exógenas e nacionais, para determinadas localidades. Com relação ao nosso país, dentre outras, pode ser citada a equação concebida para o Estado de São Paulo:

Tipo ln-ln:

$$i = A_j \cdot (t + B_j)^{C_j} + (t + D_j)^{E_k} \cdot \left\{ F_k + G_k \cdot \ln \ln \left[ \frac{T}{(T-1)} \right] \right\} + M_j \cdot (t + P_j)^{Q_j} \cdot \ln(T - 0,5) \quad (3)$$

Sendo:

$$j = k = 1 \text{ para } 10 \text{ min} \leq t \leq 60 \text{ min};$$

$$j = k = 2 \text{ para } 60 \text{ min} < t \leq 180 \text{ min};$$

$j = 2$  e  $k = 3$  para  $180 \text{ min} < t \leq 1440 \text{ min}$ ;

i: intensidade pluviométrica (mm/min);

T: período de retorno (anos);

t: duração da chuva (min);

A, B, C, D, E, F, G, M, P, Q: valores que dependem da duração da chuva e do local em estudo.

### **2.2.2- Chuvas intensas e erosividade**

Os trabalhos com vistas à determinação da erosividade das chuvas a partir de dados diários, mensais e anuais foram concebidos, num esforço de proporcionar informações para medidas de contenção da erosão do solo a partir de dados mais comumente disponíveis. Sabe-se que no processo da erosão, um dos fatores de maior variabilidade é a chuva, quer temporal, ou espacialmente. A erosão do solo pela água é um processo complexo que envolve a inter-relação de muitos fatores. Alguns destes influenciam a capacidade das chuvas e do escoamento, para desconectar e transportar o material do solo, enquanto outros influenciam a capacidade do solo para resistir às forças dos agentes erosivos.

As múltiplas formas de conceituação da chuva individual erosiva pelos pesquisadores nacionais são notórias. No trabalho de Carvalho et al. (2004), foram estudados os critérios para conceituação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo, destinados ao estudo do fator erosividade da chuva, como também para o estudo da correlação do  $EI_{30}$  com as perdas de solo por erosão. Foram analisadas as chuvas das Estações Experimentais de Conservação do Solo de Campinas, Mococa e Pindorama (IAC). Para o estudo de correlação, foram feitas análises de regressão linear simples, entre os  $EI_{30}$  das chuvas e as respectivas perdas de solo, de forma a investigar as situações estatísticas necessárias ao estabelecimento dos critérios conceituais de chuva individual erosiva. A análise final possibilitou concluir que, quando o propósito do estudo for o de correlação do  $EI_{30}$  com as perdas de solo por erosão, devem ser adotados os seguintes critérios: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0mm; 2) considerar aquelas menores do que 10,0mm se apresentarem uma altura maior ou igual a 6,0mm em 15 minutos e 3) considerar todas as que apresentaram perda de solo por erosão e/ou enxurrada. Por outro lado, quando o propósito do estudo for o de determinação do fator erosividade da chuva, tais critérios devem ser: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0mm e 2) considerar aquelas menores do que 10,0mm se apresentarem uma altura maior ou igual a 6,0mm em 15 minutos.

Vale destacar as ações de pesquisas realizadas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, muito contribuindo para a identificação dos principais fatores de erosão do solo e

estabelecer suas funcionais inter-relações. Nesse contexto, segundo Wischmeir e Meyer (1973), durante mais de 40 anos de pesquisa com mais de 250 mil eventos de escoamento de 48 estações de pesquisa em 26 estados, foi concebida a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS). Sua fórmula, segundo ABE (2007) é:

$$A = L.S.K.R.C.P \quad (6)$$

Sendo:

A = perda de solo, expressa em T/Ha por ano ou por evento de chuva;

L = fator comprimento do declive;

S = fator declividade;

K = fator erodibilidade do solo;

R = fator de precipitação (expressa a energia cinética de um evento de chuva específico ou chuva média anual);

C = fator cobertura ou uso do solo;

P = fator prática de controle de erosão.

Vale reiterar que com aplicação de dados de precipitações mensais e anuais para mensuração da erosão mediante a erosividade das chuvas, foi estabelecido o índice  $EI_{30}$ . De acordo com Wischmeier e Smith (1958), o  $EI_{30}$  representa os efeitos do impacto das gotas e da turbulência, combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial, e tem sido utilizado em diversos países, inclusive no Brasil. Entretanto, sua utilização passou a ser questionada em países tropicais e subtropicais, que são caracterizados por apresentar chuvas com intensidades de até 150 mm/h, sendo proposto, em razão disso, índices alternativos como o  $KE > 25$  por Hudson (1973), que considera o cálculo da energia cinética da chuva apenas para intensidades de precipitação maiores do que 25 mm/h. Aplicações desses índices foram utilizadas por diversos estudiosos do assunto como Carvalho et al. (2010) objetivando estudar as características da erosividade da chuva em Seropédica (RJ), quanto à sua distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno.

Cantalice et al. (2009) correlacionaram o valor médio mensal do  $EI_{30}$  com parâmetros pluviométricos, com o coeficiente de Fournier e a precipitação média mensal e, também, os valores médios anuais do  $EI_{30}$  com a precipitação média anual, com vistas à concepção do mapeamento da erosividade das chuvas no Estado de Pernambuco. Nesse aspecto, fizeram uso de dados pluviométricos, com períodos de observações de 14 a 75 anos, de 11 localidades representativas das mesorregiões estaduais, abrangendo 96 municípios.

### 2.2.3– Chuvas intensas e fatores determinantes

A modelagem e capacidade de prever o início e fim da estação chuvosa são extremamente importantes em regiões com forte presença de agricultura não-irrigada, como o Nordeste. Objetivando oferecer uma técnica alternativa para o esclarecimento dessa questão, Lima & Lall (2009) propuseram uma nova metodologia para determinar os dias de início e fim do período chuvoso. O modelo estocástico foi desenvolvido a partir de regressão logística e séries de Fourier para determinar a probabilidade e a sazonalidade da chuva diária para cada ano da série histórica. Os resultados obtidos com 504 estações pluviométricas nordestinas indicam três regiões com diferentes padrões sazonais: sudoeste, norte e ao longo da costa. A quadra chuvosa identificada para essas regiões é coerente com a literatura e compreende os períodos: Novembro-Março, Fevereiro-Maio, e Março-Agosto. Uma análise da variabilidade interanual desses períodos mostrou uma tendência de antecipação do dia de início e um aumento na duração da quadra chuvosa nessas três regiões, provavelmente resultante do aumento da temperatura do mar no Atlântico tropical sul. Desse modo, a modelagem proposta serve como base para o desenvolvimento de um modelo operacional de previsão dos dias de início, pico e fim da quadra chuvosa no Nordeste.

Rodrigues & Castro (2007) realizaram estudo que trata de aspectos da gênese das chuvas no espaço urbano de Araguari-MG, com o objetivo geral de contribuir para o entendimento da dinâmica climática urbana. Mais especificamente buscaram identificar a circulação atmosférica regional atuante e os padrões de gênese. Os registros pluviométricos foram obtidos através de uma rede de pluviômetros, modelo Ville de Paris, instalados em diversos bairros da cidade, numa série temporal do período 2001-2005, os quais foram analisados com base nos procedimentos metodológicos da análise rítmica e correlacionados às cartas sinóticas obtidas pelo CPTEC/INPE. Para tal selecionaram-se os períodos da estação chuvosa e neles os episódios representativos de chuvas contínuas e intensas. Concluiu-se que a gênese das chuvas resulta da dinâmica frontal (Frente Polar acompanhada das Linhas de Instabilidade Tropical), geradora também das maiores alturas de chuvas, corroborando com o modelo bastante conhecido para a região sudeste do país e, em particular, para a região do Triângulo Mineiro.

O efeito do El Niño nos padrões de precipitação e vazão dos rios foi examinado por Tarras-Wahlberg et al. (2006) para o sudoeste do Equador e norte do Peru. O estudo utilizou dados coletados a partir da bacia do rio Puyango-Tumbes, que abrange grandes diferenças de intervalos altitudinais e climáticas. A análise dos dados sugere que a captação de eventos de El Niño são importantes na regulação de chuvas, mas que diminui a sua importância no interior da planície costeira, demonstrando que a topografia é um fator importante no controle dos padrões regionais de precipitação durante os eventos El Niño. Além disso, é mostrado que os eventos El Niño podem ser

associados com uma antecipação e retardamento do fim da estação chuvosa. Altas chuvas e inundações extremas ocorrem também em anos sem presença do fenômeno El Niño, e outros anos com o evento El Niño podem ser mais úmidos do que o normal. Esses fatos sugerem que o evento El Niño nem sempre é a causa de inundações extremas e chuvas intensas, mas que outros fatores climáticos podem, às vezes, ter uma importância igual ou superior.

Anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil (NEB) foram re-examinadas por Andreoli & Kayano (2007), considerando os efeitos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e do Atlântico Tropical (AT) na estação anterior à estação chuvosa do NEB. Simultâneos ENOS e ATSMs significativas no AT atuam para aumentar ou diminuir as anomalias de precipitação. ATSMs de mesmo sinal no ATS e Pacífico leste enfraquecem os padrões de precipitação no NEB. Quando as ATSMs do ATS não são significativas ou com magnitudes equivalentes às do ATN, porém com sinal oposto das ATSMs do Pacífico leste, as ATSMs do ATN e as anomalias da circulação atmosférica relacionada ao ENOS conduzem ao fortalecimento dos padrões anômalos de precipitação. Independente do ENOS, a influência do AT na variabilidade de precipitação é mais marcante para o ATS. Um aspecto relevante apresentado aqui é o papel do ATS na variabilidade de precipitação do NEB, cujo monitoramento é essencial para prospecções climáticas sazonais.

Ademais, o trabalho de Alves et al. (2006) enfoca um estudo diagnóstico sobre o volume intenso de precipitação registrado em grande parte da região Nordeste do Brasil (NEB), durante o mês de janeiro de 2004, bem como dos mecanismos atmosféricos associados. Em adição foi apresentada uma análise comparativa das características atmosféricas observadas em janeiro de 2004 com as composições montadas para janeiros chuvosos e secos no NEB, estabelecidas entre 1971-2000. Os resultados mostraram que a precipitação mensal em janeiro de 2004 foi uma das mais intensas sobre o NEB no registro histórico dos últimos 30 a 40 anos, representando um percentual entre 60% a 80% quando comparado à climatologia de janeiro a maio, sendo que em algumas áreas isoladas do semi-árido os valores foram superiores a 100%. No setor norte do NEB as chuvas representaram cerca de 40 a 60% do total pluviométrico registrado na estação chuvosa de 2004 como um todo (janeiro a maio). As condições de precipitação muito acima do normal no NEB associaram-se a interação dos principais sistemas meteorológicos do verão: a Zona de Convergência Intertropical, incursões de frentes frias no centro-sul do NEB, de episódios de vórtice ciclônico de ar superior e influências da oscilação 30-60 dias. Essa interação associou-se ao estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul ao norte de sua posição climatológica, potencializando a persistência das chuvas no centro-norte do NEB durante o mês de janeiro de 2004. As análises dos padrões atmosféricos de grande escala mostraram que em janeiro de 2004 predominou um transporte anômalo de umidade oriundo da Amazônia e do Oceano Atlântico, o qual se assemelha

ao padrão observado numa composição de anos com janeiros chuvosos no NEB. Para os anos com janeiros secos, essas características foram contrárias ou menos evidentes.

### **2.3 – Chuvas intensas e uma nova visão**

De acordo com Mehl et al. (2001) outras características das chuvas de uma região podem, melhor, determinar a maior parte dos efeitos danosos da erosão. Com efeito, a variação da intensidade durante a chuva é uma dessas importantes características. Entretanto, nesse aspecto, pouco se sabe sobre os padrões de chuva ocorrentes no Brasil. Destarte, o seu trabalho teve como objetivos determinar os padrões das chuvas erosivas naturais verificadas em Santa Maria (RS), e estimar o período de retorno das mesmas em três padrões propostos. As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade.

Objetivando determinar as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupto, submetido a quatro diferentes padrões de chuva, Eltz et al. (2001) procederam a um trabalho de pesquisa com aplicação de chuvas simuladas com intensidade variável em diferentes padrões: avançado, intermediário, atrasado e constante. Observou-se que o padrão atrasado revelou maior perda acumulada de solo. Ademais, Chuvas com picos de alta intensidade, como as de intensidade variável, ocasionam maiores perdas de solo e água do que as chuvas de intensidade constante.

Machado, et al. (2008) consideram que as características físicas das chuvas determinam sua erosividade, e que constitui importante fator nas relações de causa e efeito do processo erosivo dos solos, sendo sua caracterização fundamental para o planejamento conservacionista. Com efeito, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a distribuição dos atributos das chuvas (altura precipitada, duração, energia cinética, intensidade máxima em 30 min) e índices de erosividade ( $EI_{30}$  e  $KE > 25$ ) em relação aos meses do ano e padrões de precipitação pluvial, para uma série de dados pluviográficos referentes à região de Ribeirão das Lajes (RJ).

Evangelista et al. (2005), em razão da variação da intensidade da precipitação pluvial durante a sua ocorrência, desenvolveram trabalho com o objetivo de estudar os padrões de chuvas erosivas naturais verificadas em Lavras, MG, e estimar o período de retorno das chuvas em três padrões propostos. As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade e, posteriormente, foram calculadas as intensidades máximas de chuva para várias durações e períodos de retorno. Também foram construídas curvas de intensidade, duração e frequência para os padrões de chuva supracitados.

Oliveira et al. (2010) determinaram as perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro diferentes padrões de chuva simulada. O estudo foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa-Agrobiologia, localizado no município de Seropédica, RJ, e consistiu na aplicação de chuvas simuladas com diferentes padrões caracterizados como avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT). Os resultados obtidos possibilitaram concluir que após 60 min de chuva simulada as perdas de solo observadas para o padrão atrasado foram, em média, superiores em 61,6, 46,4 e 13,6%, respectivamente, para o CT, AV e IN; em referência às perdas de água foram constatadas 42,0, 19,0 e 19,0%, respectivamente, para o AV, IN e CT. As perdas de nutrientes não diferiram entre os padrões de precipitação, sendo mais influenciadas pelas perdas de água escoada superficialmente que pelo material sólido em suspensão.

### **3- MATERIAL E MÉTODOS**

O município de Barreiros localiza-se na Zona Fisiográfica da Mata de Pernambuco, entre as latitudes Sul de 8° 45' e 8° 53' e longitudes Oeste de 35° 6' e 35° 24'. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do Tipo As', tropical com chuvas de inverno antecipadas no outono. Para o período de 1963 a 1985, segundo Sudene (1990), a precipitação média anual foi de 2.194,8 mm. Os dados pluviométricos utilizados no presente trabalho foram obtidos de pluviogramas digitais captados por PCD e cedidos pelo Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco – LAMEPE, compreendendo o período de 15/05/2003 a 04/07/2010. A amplitude de registro foi de 0,25 mm. A PCD está a uma altitude de 23 m, com coordenadas, de 8° 50' latitude sul e de 35° 12' longitude oeste.

Para determinar os padrões de chuvas, as precipitações registradas digitalmente pela PCD foram transferidas para planilha do EXCEL, indicando dia, mês, ano, hora, minuto e segundo, e a altura precipitada acumulada, referente a cada preenchimento da balsa equivalente a 0,25 mm. A partir dos dados acumulados foram determinadas as alturas precipitadas de todas as chuvas individuais e selecionadas as consideradas erosivas. Cada chuva individual foi separada de outra por um intervalo de no mínimo seis horas com precipitação inferior a 1,0 mm e foi considerada erosiva quando a precipitação total foi superior a 10,0 mm ou quando a precipitação foi igual ou superior a 6,0 mm em 15 minutos de chuva, segundo (Cabeda 1976), apud Mehl (2001). Considerou-se como pico o conjunto de oito ou mais células sequenciais com intensidade igual ou superior a 24 mm/h com duração mínima de dois segundos.

No concernente à classificação das chuvas por tipo de padrão utilizou-se o proposto por Horner e Jens (1941): tipo avançado, quando o pico se encontra no primeiro terço da duração da chuva; o tipo intermediário, quando o pico se encontra no segundo terço e o tipo retardado, quando o pico se encontra no terço final.

#### 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na análise das chuvas, além dos tipos de padrão avançado, intermediário e retardado, concebidos por Horner e Jens (1941), foi determinado o indefinido, quando não há identificação de pico, e o múltiplo, quando a chuva apresenta mais que um pico.

Quadro 1 - as chuvas analisadas e classificadas de acordo com a localização do pico no período de duração das mesmas.

Especificação	Chuva Erosiva Individual					
	Av	Int	Ret	Mult	Ind	Total
Número	43	31	27	125	78	304
Percentual	14,15%	10,20%	8,88%	41,12%	25,66%	100%
Duração Média das Chuvas (Horas)	14:10:40	13:55:48	13:59:50	14:05:33	14:04:45	
Intensidade Média (mm/h)	5,62	5,74	5,84	5,70	5,68	
Intensidade Média dos Picos	27,8	32,4	47,4	48,76	2,4	
Duração média dos picos	7,2	7,6	6,6	7,68		

As chuvas erosivas identificadas apresentaram uma variação em altura de 10 mm a 286,75 mm. A maior altura foi registrada em 15 de junho de 2005 no tipo Múltiplo, enquanto a menor ocorreu no tipo Intermediário, registrada no dia 12 de agosto de 2003. No que tange à intensidade máxima, a maior ocorreu no tipo Múltiplo sendo ela de 140,9 mm/h. A maior intensidade média foi verificada no tipo retardado, no entanto, as variações foram pequenas entre os cinco tipos apresentados. Quanto a duração, a maior ocorreu no tipo intermediária sendo a menor verificada no tipo avançado. O pico de maior duração foi verificado no tipo intermediária, já o de maior intensidade ocorreu no tipo múltiplo.

#### 5- CONCLUSÕES

A partir dos dados de altura em milímetro e fração, com o tempo em função da capacidade da balsa do pluviômetro, com o registro da hora em que se deu o alcance do seu enchimento, e com diagramas de precipitações ao longo de sua duração, indicando a variação de intensidade,

obtidos no período dos anos de 2003 a 2010 da PCD de Barreiros –PE foi possível inferir algumas conclusões acerca dos tipos de chuva.

Além dos tipos de chuva previamente classificados por Horner e Jens (1941), foi determinado o indefinido, quando não há identificação de pico, e o múltiplo, quando a chuva apresenta mais que um pico.

A classificação destas chuvas em padrão avançado, intermediário, retardado e múltiplo, foi feita de acordo com a posição do pico de máxima intensidade e, posteriormente, foram calculadas as intensidades máximas de chuva para várias durações e períodos de retorno. Foi possível inferir que as chuvas erosivas do município de Barreiros possuem variações quanto ao tipo, sendo a mais predominante do tipo múltiplo. O tipo de chuva que menos ocorre é o retardado ou atrasado, mas é este mesmo tipo que possui mais intensidade média nos picos.

Ainda se faz necessária uma complementação ao estudo para que haja uma melhor previsão dos eventos, como a associação das chuvas ao clima da região e aos fenômenos meteorológicos em cada época do ano.

## BIBLIOGRAFIA

ABE- 432. Water erosion. Course Outline. Outubro/2007.

Alves, J. M. B.; Ferreira, F. F.; Campos, J. N. B.; Filho, S. de S. de S.; Souza, E. B. de; Duran, B. J.; Servain, J.; Studart, T. M. C. *Mecanismos Atmosféricos Associados à Ocorrência de Precipitação Intensa sobre o Nordeste do Brasil Durante Janeiro/2004*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.1, 56-76, 2006

Andreoli, R. V.; Kayano, M.T. *A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.1, 63-74, 2007.

Aquino, R. F.; Avanziz, J.C.; Silva, M. L. N.; Sáfadia, T.; Curis N. *Uso de modelos de séries temporais para previsão da erosividade mensal, para o município de Lavras, MG*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.16, n. 2, p.205-210, agosto/2008.

Araujo, L. E. de; Souza, F.de A.S.de; Ribeiro, M. A.de F.M; Santos, A. S. dos; Medeiros, P. da C. *Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba*, Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.2, 162-169, 2008.

Baigorria, G.A., J.W. Jones, and J.J. O'Brien. *Changes in rainfall patterns in the Southeast USA*. In: Proceedings of the UF-Water Institute Symposium. Sustainable Water Resources: Florida

Challenges, Global Solutions. Gainesville, FL 2008. Session: Climate Variability & Climate Change Factors Impacting Water Resource Sustainability. 2008.

Bazzano, M. G. P.; Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A. *Erosividade, Coeficiente de Chuva, Padrões e Período de Retorno das Chuvas de Quaraí, RS*. R. Bras. Ci. Solo, 31:1205-1217, 2007.

Cabral, J. B. P.; Becegato, V. A.; Scopel, I.; Lopes, R. M. *Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás / Brasil para o período de 1971 a 2000* GeoFocus (Artículos), nº 5, p. 1-18. ISSN: 1578-5157. 2005.

Cantalice, J. R. B.; Bezerra, S. A.; Figueira, S. B.; Inácio, E. dos S. B.; Silva, M. D. R. de O. *Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco - 1ª Aproximação*. Revista Caatinga, v. 22, n. 2, p. 75-80, 2009.

Carvalho, D.F.de; Machado, R. L.; Evangelista, A.W. P.; Junior, J.K. K.; Silva, L.D. B. da. *Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade  $EI_{30}$  e  $KE > 25$  em Seropédica-RJ*. Eng. Agríc. V.30 n. 2, Jaboticabal. Mar./Abr. 2010.

Carvalho, M. de P.; Freddi, O. Da S.; Veronese Junior, V. *Critérios de classificação de chuva individual erosivapara o Estado de São Paulo*. Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, v. 26, no. 2, p. 175-183, 2004.

Cecilio, R. A.; Pruski, F. F. *Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.501-504. 2003.

Cecílio, R. A.; Pruski, F. F.; Hollanda, M. P.; Pezzopane, J. E. M. *Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo*. Revista Ambiente & Água. Journal of Applied Science. v. 4. n. 3. 2009.

Damé, R. de C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S. *Comparação de Diferentes Metodologias para Estimativa de Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Pelotas – RS*. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, abr./jun. 2008.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. *Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS*. R. Bras. Ci. Solo, 16:265-269, 1992.

Eltz, F. L. F.; Mehl, H. U.; Reichert, J. M. *Perdas de Solo e Água em Entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarela Submetido a Quatro Padrões de Chuva* R. Bras. Ci. Solo, 25:485-493, 2001.

Evangelista, A. W. P.; Carvalho, L. G. de; Bernardino, D. T. *Caracterização do Padrão das Chuvas ocorrentes em Lavras, MG*. Irriga, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 306-317, novembro-dezembro, 2005 .

HORNER, W.W.; Jens,S.W. *Surface runoff determination from rainfall without using coefficients*. Trans. Am. Soc. Civil Eng., 107:1039-1117, 1941.

HUDSON, N. *Soil Conservation*. Ithaca, New York: Cornell University Press, 320 p. 1977.

Keller Filho, T.; Assad,E. D.; Lima,P. R. S. de R. *Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil*. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.4, p.311-322, abr. 2005.

Koutsoyiannis, D. *Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 1, Theoretical investigation*. Hydrological Sciences Journal, 49 (4), p. 575-590, 2004.

Koutsoyiannis, D. *Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records*.Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 49(4) August 2004<sub>2</sub>.

Le Minh Nhat; Tachikawa, Y.; Takara, Y. *Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam*. Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 49 B, 2006.

Lima,C. H.R.; Lall, U. *Modelagem Estocástica e Análise Temporal da Duração e dos Dias de Início e Fim da Estação Chuvosa no Nordeste*. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009. Campo Grande: 22 a 26 Novembro, 2009.

Lyra, G. B.; Garcia, B.I.L.; Piedade, S.M. de S.; Sedyama, G.C.; Sentelhas P.C. *Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela*. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.2, p.205-215, fev. 2006.

Machado, R.L.; Carvalho, D. F. de; Costa, J. R.; Oliveira Neto, D. H. de; Pinto, M. F. *Análise da Erosividade das Chuvas Associada aos Padrões de Precipitação Pluvial na Região de Ribeirão das Lajes (RJ)*. R. Bras. Ci. Solo, 32:2113-2123, 2008.

Mehl, H. U.; Eltz, F. L. F.; Reichert, J. M.; Didoné, I. A. *Caracterização de Padrões de Chuvas Ocorrentes em Santa Maria (RS)*. R. Bras. Ci. Solo, 25:475-483, 2001.

Mendes, P. C. *A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia - MG*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia (UFU). 237p. 2001.

MORAIS, L.F.B.; Mutti, L.S.M.; Eltz, F.L.F. *Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul*. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 12:281-284, 1988.

Oliveira, J. R. de; Pinto, M.F.; Souza, W.de J.; Guerra, J.G. M.; Carvalho, D.F.de *Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.2, p.140–147, 2010.

Pfafstetter, O. *Chuvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro, DNOS, 419 p. 1957.

Rodrigues, R.de A.; Castro, S. S. de, Contribuição ao Estudo da Gênese das Chuvas na Cidade de Araguari (MG) Durante a Estação Chuvosa 2001-2005. CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> ISSN 1678-6343.

Sangiolo, C. A. *Distribuição de Extremos de Precipitação Diária, Temperatura Máxima e Mínima e Velocidade do Vento em Piracicaba, SP (1917-2006)*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.3, 341-346, 2008.

Silva, B. N. da; Clarke, R. T. *Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia do Rio São Francisco*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, 265-272, 2004.

Souza, F. de A. S. de; Silva, V. de P. R. da, *Análise de Intensidade de Chuva pela Curva Normalizada da Precipitação*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.2, n.2, p.319-323, 1998.

Taborga Torrico, J.J. *Práticas Hidrológicas*. 2. Ed. Rio de Janeiro, Transcon, 120p. 1975.

Tarras- Wahlberg, N. H.; Caudwell, S.W.B.; Lane, S.N. *El Niño Events, Rainfall Patterns and Floods in the Puyango River Basin, Southern Ecuador*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.2, 201-210, 2006.

Vieira, D. B.; Lombardi Neto, F.; Santos, R.P. dos. *Relações entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococa, SP*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33. n.8, p.1215-1220, 1998.

Wischmeier, W.H.; Smith, D. D. *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. Transactions of the American Geophysical Union, v.39, n.2, p.285-291, 1958.

Wischmeier, W.H. *A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:246-249, 1959.

Wischmeier, W.H. *Storms and soil conservation*. J. Soil Water Conserv., 17:55-59, 1962.

Wischmeier, W.H.; L.D. Meyer. *Soil erodibility on construction areas*. Highway Research Board, Special Report 135: 20-20. 1973.