

COMPORTAMENTO SAZONAL E ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA MICROBACIA RIACHO PASSAGEM/RN POR TÉCNICAS DE SÉRIES TEMPORAIS E PROBABILÍSTICA

AMORIM, Rodrigo de Freitas – rodrigofba@yahoo.com.br
Doutorando Universidade Federal de Pernambuco

SILVA, Fernando Moreira da – fmoreyra@ufrnet.br
Professor Doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros – dbiase2001@terra.com.br
Professor Doutor da Universidade Federal de Pernambuco

SILVA, Danielle Gomes da – dannyavlis@yahoo.com.br
Professora Doutora da Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO: Conhecer as características da precipitação na região semiárida do Nordeste do Brasil é de fundamental importância no desenvolvimento sustentável das atividades econômicas praticadas. Analisar a sazonalidade da precipitação e sua espacialização por técnicas de séries temporais e probabilísticas é o objetivo do presente artigo. A área de estudo é a Microbacia Riacho Passagem localizada na Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró Estado do Rio Grande do Norte. Foram utilizados os dados de 06 estações pluviométricas de responsabilidade da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). Os resultados demonstraram que o período chuvoso na área inicia em janeiro terminando em meados de maio, sendo que através da distribuição de Gauss é esperado anualmente, com 29,4% de probabilidade, um índice de precipitação acima de 800mm. Desta forma, se faz necessário um maior monitoramento da precipitação aliado à políticas públicas que levem em consideração a sazonalidade e espacialização da precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: sazonalidade, precipitação, microbacia.

SEASONAL AND SPATIAL BEHAVIOR OF PRECIPITATION IN THE RIACHO PASSAGEM/RN CATCHMENT BASED ON TEMPORAL SERIES AND PROBABILISTIC ANALYSIS

ABSTRACT: The knowledge of precipitation characteristics in the semi-arid region of Northeastern Brazil is of crucial importance for the sustainable development of existing economic activities. Therefore, the aim of this work is to analyze the seasonality and spatial distribution of precipitation by means of temporal series and probabilistic techniques. The chosen study area was the Riacho Passagem catchment which integrates the Apodi/Mossoró drainage network in the State of Rio Grande do Norte. Data from six pluviometric stations under the control of Rio Grande do Norte Agriculture Research Authority (EMPARN) were used. Results showed that the rainy season in the area starts in January, finishing by mid-May. According to Gauss distribution an annual rainfall total in excess of 800 mm is expected in the area with a 29,4% probability. This being so, a thorough monitoring of precipitation coupled with public policies in the area must take into account the seasonality and spatial distribution of precipitation.

KEYWORDS: seasonality, precipitation, catchment.

1. INTRODUÇÃO

A emergência da crise ambiental traz consigo a necessidade de reformular o pensamento teórico cuja finalidade é a compreensão da problemática criada pelo processo que existe em razão da destruição das bases ecológicas (Leff, 2001). Essa premissa destaca a importância na elaboração de novos modelos que considerem a capacidade do suporte ecológico, a qual é base para sustentação das ações sociais. Esses novos modelos exigem a compreensão das condições naturais para que se possa adequar, de forma segura, as necessidades de uso do meio com as condições de suporte.

O entendimento desse suporte exige o conhecimento aprofundado das condições físicas de uma região, que se configura como condição primeira, quando se objetiva o desenvolvimento em bases sustentáveis. Dentre os condicionantes do meio físico, as características sazonais da precipitação são relegadas, na maioria das vezes, a uma descrição

de médias anuais, sem qualquer relação com outras variáveis do meio físico, solos, relevo, vegetação, do meio socioeconômico ou tratamentos estatísticos mais precisos. BEIJO (2003) destaca que "a precipitação na forma de chuva é um dos elementos meteorológicos que mais influencia nas potencialidades das bacias hidrográficas" e conseqüentemente na dinâmica ambiental.

Buscando melhor adequar os objetivos do estudo aos conceitos aqui empregados, conceitua-se o termo *climatologia da precipitação* como sendo as condições de distribuição da precipitação pluviométrica determinada pelos sistemas sinóticos que a influenciam. E sazonalidade da precipitação como sendo a diferença no volume de precipitação e suas características, período seco e chuvoso, ao logo de um período de tempo, no caso específico do estudo, anual.

Para Pereira et al. (2008) as precipitações variam, em escala regional e local, em função do relevo e da formação de áreas de instabilidade, fazendo com que chova intensamente em uma área da bacia e a alguns quilômetros de distância não seja registrado chuvas. Essa característica repercute na formação de condições ambientais distintas da capacidade de suporte do meio ecológico em uma bacia hidrográfica, sendo fundamental o zoneamento dessa variável.

Conhecer as características da precipitação é também fundamental no estudo da erosão do solo, principalmente quando se propõe mensurar a perda de solo na região do semiárido Nordeste, através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). As características da sazonalidade da precipitação no semiárido, onde ocorre um período seco e um chuvoso conferem uma maior complexidade ao estudo da erosão do solo em virtude da maioria dos modelos propostos terem sido elaborados para condições ambientais distintas das do semiárido.

A EUPS foi desenvolvida nos Estados Unidos ao longo da década de 1950, sendo posteriormente aperfeiçoada por Wischmeier & Smith (1978) conforme destaca (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Hodiernamente, ela constitui um dos mais utilizados e importantes modelos para estudo da erosão pluvial no mundo, em especial por utilizar fatores de ordem natural e antrópica. Contudo há a necessidade de adequação da EUPS as condições de cada região.

Dentre as variáveis utilizadas na EUPS, a primeira é a erosividade da chuva que representa a energia cinética das gotas de chuva capaz de mobilizar a massa de solo. Para determinar a erosividade faz-se uma relação entre as médias mensais e a média anual, porém como na região em estudo ocorre a distinção de um período seco e um chuvoso a média anual incorre uma distorção nos resultados.

Assim sendo, para conferir maior consistência nos resultados da EUPS, uma vez que ela foi formulada para ser aplicada em todo o planeta, é necessária a calibração do modelo às características geográficas de cada região. Essa calibração deverá ser executada através da complementação com modelos que se acoplem a EUPS e da análise das condições ambientais da cada região.

Desta forma, o trabalho objetiva analisar a sazonalidade da precipitação e sua espacialização por técnicas de séries temporais, probabilística e modelos da estatística espacial, bem como, identificar e descrever os principais sistemas sinóticos que influenciam na sazonalidade e climatologia da precipitação na Microbacia Riacho Passagem/RN. Para tanto, o estudo faz uso da distribuição normalizada de Laplace e Gauss, estatística descritiva e softwares de geoprocessamento.

Caracterização Geográfica da Microbacia Riacho Passagem

A Microbacia Riacho Passagem/RN possui uma área de 221,7km² com uma população de aproximadamente 10.327 habitantes, compreendendo os núcleos urbanos de Itaú e Rodolfo Fernandes, e parte da zona rural dos municípios de Severiano Melo e Tabuleiro Grande, na divisa do RN com o Ceará. Conforme a divisão territorial do IBGE, a área de estudo, encontra-

se inserida na Mesorregião Oeste Potiguar e Microrregião de Pau dos Ferros a uma distância de 380 km da capital do Estado do Rio Grande do Norte, Natal (IBGE, 2007; AMORIM e SILVA, 2009).

De acordo com a classificação climática de Köppen (1901) *apud* Vianello e Alves (2000), o clima da área de estudo caracteriza-se como BSw'h', marcado por ser um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. As precipitações médias anuais ficam entorno dos 700 mm, sendo o principal sistema responsável pela precipitação a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical).

Os solos da microbacia compreendem as classes: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO com 49.6 Km² representando 22.3% da área total, NEOSSOLOS FLÚVICOS com 16.7 Km² representando 07.5% e NEOSSOLOS LITÓLICOS com 156.5 Km² 70,24% (AMORIM e SILVA, 2009). Essas classes de solos estão em consonância com a geologia da área, colocando em destaque a predominância da geologia cristalina através dos Neossolos litólicos, classe mais representativa na microbacia, bem como a mais vulnerável à degradação ambiental em razão de suas características morfológicas.

As principais atividades desenvolvidas na microbacia são: agricultura de subsistência, pecuária e o setor de serviços ligado ao setor público, Prefeituras e Governo do Estado. No que tange a agricultura destaca-se o plantio de sequeiro, segundo o IBGE (2007) cerca de 90% da produção nesses municípios é feijão macassar e milho. Enquanto a pecuária é constituída principalmente de caprinos, ovinos e bovinos que tem como característica a aplicação de métodos simples de manejo. Nas áreas de solos mais profundos, onde a geologia é sedimentar, predomina plantações de culturas permanentes, cajueiros, que são intercalados no período chuvoso com plantios de feijão macassar.

Quanto aos recursos hídricos, os principais mananciais são os açudes que dentre outros usos, abastecem os dois núcleos urbanos existentes na microbacia. Os mananciais subterrâneos são pouco expressivos em razão da maior parte da área ser estruturada em rochas cristalinas, sendo que os aquíferos presentes são os localizados em falhas, preenchidos por sedimentos de aluviões. Esses aquíferos são de pequenas dimensões e a qualidade da água na maioria das vezes é comprometida em razão da concentração de sais.

O principal canal fluvial da Microbacia é o Riacho Passagem, um importante afluente do Rio Apodi-Mossoró, localizado a montante da Barragem de Santa Cruz, o maior reservatório hídrico da Região com capacidade para armazenar 599.712.000,00 m³ de água, potencial esse que vai abastecer 26 municípios da Bacia Apodi-Mossoró, quando da conclusão da adutora do Alto Oeste Potiguar.

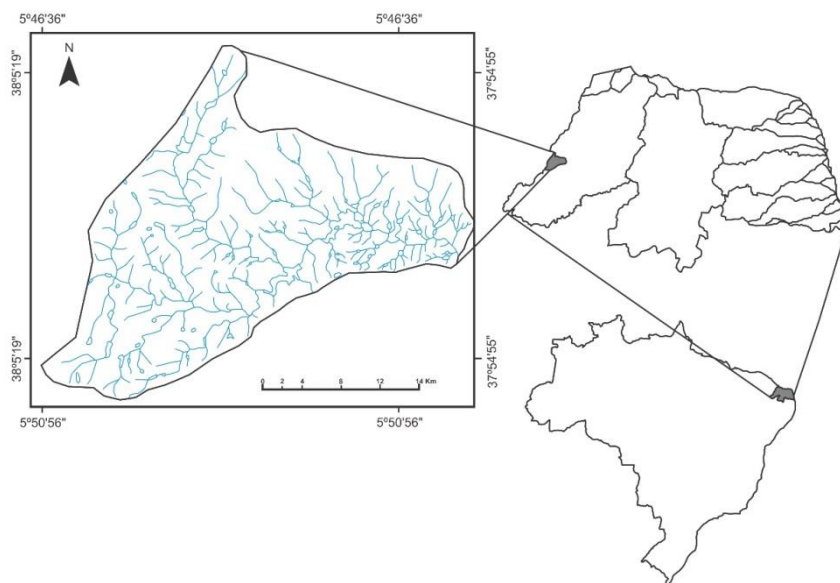


Figura 01 - Localização da Microbacia Riacho Passagem

Sistemas Sinóticos Atuantes na Área

As condições climáticas da Região Nordeste do Brasil resultam da interação de um conjunto complexo de sistemas de macro e mesoescala, atuando de forma isolada ou combinados, determinando o regime pluviométrico com características de grande variabilidade espaço temporal das precipitações. Segundo Nimer, (1989) o conjunto de diferentes sistemas de circulação atmosférica, tornam a climatologia da região, principalmente quanto à precipitação, uma das mais complexas do mundo. Nimer ao identificar e descrever a atuação dos diferentes sistemas sinóticos atuantes na Região Nordeste possibilitou uma compreensão da dinâmica climática da área. Os seus resultados permitiram um maior entendimento da variabilidade na precipitação regional, assim como identificou as como os sistemas sinóticos atuavam em cada setor do Nordeste Brasileiro.

A delimitação política da Região Nordeste (1.558.196 km²) abriga em seu âmago uma região natural o semiárido (700 mil km²), a qual apresenta condições praticamente homogêneas no tocante ao regime pluviométrico. Contudo, dentro da isoietas de 700mm pode-se individualizar condições climáticas distintas de precipitação e temperatura, por exemplo, nas regiões de altitude (serras ou brejos de altitudes), bem como áreas de pouca precipitação, localizadas a sotaventos das serras.

Para Ab'Sáber (1999) os atributos que caracterizam as regiões semiáridas são sempre de origem climática, hídrica e fitogeográfica: baixos níveis de umidade, escassez de chuvas anuais, irregularidade no ritmo das precipitações ao longo dos anos; prolongados períodos de carência hídrica; solos rasos e ausência de rios perenes. Ab'Sáber (2003) salienta que a forma mais precisa para delimitar a região do semiárido reside no campo da precipitação, ou seja, área com precipitação média normal menor que 800mm, formando um bolsão onde as condições climáticas são praticamente homogêneas.

As considerações tecidas acima podem facilmente ser visualizadas pelas diferenças ecológicas das áreas citadas. Contudo, pouco se sabe das variações na distribuição da precipitação em escala local, a exemplo na Microbacia Riacho Passagem. Para galgar tal pleito, é imprescindível fazer uso das tecnologias de espacialização de dados e de modelos geoestatísticos consistentes.

Segundo Amorim 2007, a Microbacia Riacho Passagem, enquadra-se no tipo climático **BSw'h'**, marcado por ser um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono, conforme a classificação climática de KÖPPEN. Sendo os sistemas sinóticos que influenciam na precipitação da área constituem a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Anticiclones do Atlântico Sul (ASA), Vórtice Ciclônico da Atmosfera Superior (VCAS), Complexo Convectivo de Meso Escala (CCM) e Linhas de Instabilidade (LI). Com destaque para o principal sistema responsável pelas precipitações na estação chuvosa é a ZCIT.

As condições climáticas da área de estudo também são influenciadas pelos sistemas meteorológicos globais: EL NIÑO e LA NIÑA. Esses influenciam diretamente no volume da precipitação na região, proporcionando anos bastante chuvosos ou secas severas. Quando as condições meteorológicas favorecem a formação do LA NIÑA ocorrem baixas precipitações no Peru, Sul e Sudeste do Brasil e elevadas precipitação no Nordeste brasileiro. Quando incidem condições meteorológicas inversas favorece a formação do sistema EL NIÑO, que quando ocorre de forma intensa provoca secas severas na região Nordeste e em consequência na área em estudo (SILVA, COSTA e SOUSA 1999).

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema de macro escala, onde, os ventos alísios de sudeste vindos do Hemisfério Sul (HS) e os ventos alísios de nordeste vindos

do Hemisfério Norte (HN) convergem em baixos níveis meteorológicos atuando nos trópicos, seu deslocamento latitudinal oscila entre 5°S e 15°N (MELO et al., 2002).

A ascensão desses ventos, transferindo calor e umidade, provoca um resfriamento em níveis mais altos, perdendo umidade por condensação e precipitação, ocorrendo em altitude um movimento descendente, contra-alísios, até a zona dos cinturões anticiclônicos, onde ocorrem movimento subsidente aquecendo-se para formar novamente os alísios (MELO et al., 2002; FERREIRA e MELLO, 2005).

Vários são os fatores em escala global que podem influenciar no movimento da ZCIT e acentuar condições de seca ou de chuva acima da média sobre o Nordeste do Brasil. Porém, as condições físicas dos Anticiclones do Atlântico sul e norte são notadamente os principais responsáveis pelos movimentos de decida e subida da ZCIT (FERREIRA e MELLO, 2005).

Segundo Melo et al. (2002) entre os meses de novembro e dezembro, a ZCIT inicia seu deslocamento para o Hemisfério Sul, sendo que nas proximidades do litoral do Nordeste, a ZCIT atinge a sua posição mais ao sul nos meses de março e abril.

Sendo a ZCIT o principal sistema responsável pelas precipitações na área de estudo, quando o deslocamento no sentido sul não é significativo há um declínio significativo no volume das precipitações, em especial, entre os meses de janeiro a abril, período em que se concentram as precipitações (AMORIM, 2007). A Figura 2 apresenta a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), no dia 27 de março de 2009 às 17 horas local, as setas indicam o sentido de variação latitudinal ao longo do ano.

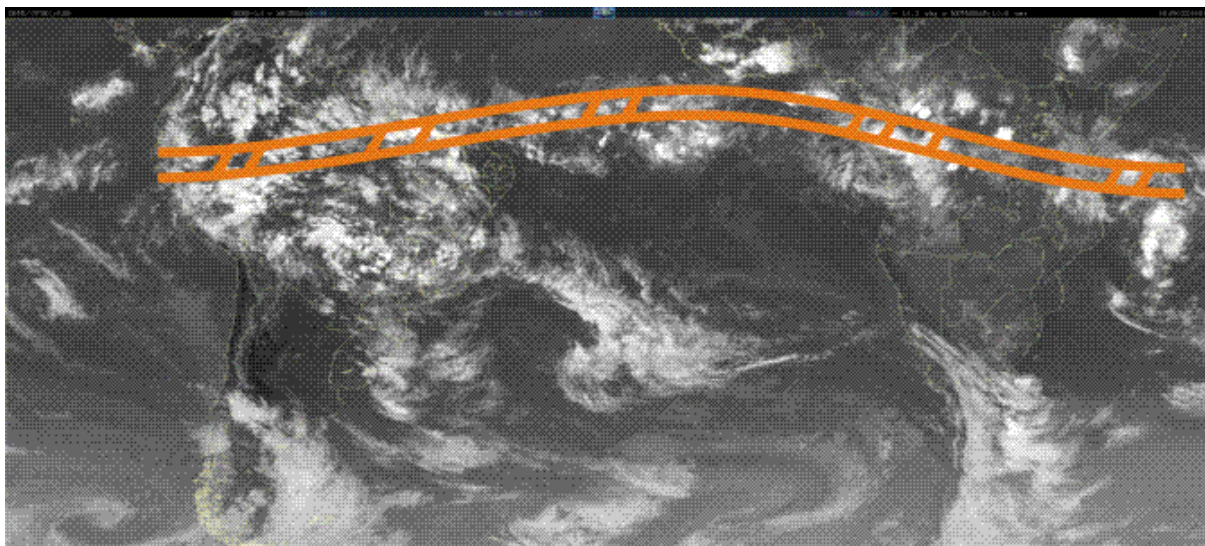


Figura 2 – Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na imagem dos satélites GOES+METEOSAT, no canal infravermelho do dia 27 de março de 2009 às 17 horas local.
Fonte: CPTEC, modificada pelos autores.

Anticiclones do Atlântico Sul (ASA)

O segundo Sistema sinótico de escala global que influencia no volume da precipitação na região de estudo é o Anticiclones do Atlântico Sul (ASA). Esse é um sistema que caracteriza-se como semipermanente (também conhecido como Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul – ASAS) em virtude de sua variação latitudinal e longitudinal ao longo do ano, destaca-se ainda, as variações de intensidade ao longo do ano. Ele está relacionado a uma troca de calor e umidade em grande escala ocorrida no atlântico sul.

Segundo Ito e Ambrizzi (1999) os anticiclones estendem-se verticalmente (acima de 10 km de altura) da superfície oceânica à tropopausa e abrangendo extensas áreas (milhares de quilômetros) de ar subsidente seco e quente, sendo que sua formação está relacionada à circulação do ar em escala planetária, a circulação de Hadley. Nimer (1989) assinala que dentre as características do ASA, destaca-se as temperaturas elevadas, que são fornecidas

pela intensa radiação solar e telúrica das latitudes tropicais, e forte umidade, fornecida pela intensa evaporação marítima.

O ASA influencia de forma inversa a precipitação da região, e sua atuação determina o movimento zonal executado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a principal responsável pela precipitação (Figura 3). A variação espacial da ZCIT em direção ao Hemisfério Sul é realizado justamente no período de janeiro a abril, quando o ASA tem pouca intensidade. No período de junho a agosto o ASA atinge o seu estágio máximo, deslocando a ZCIT para o Hemisfério Norte.

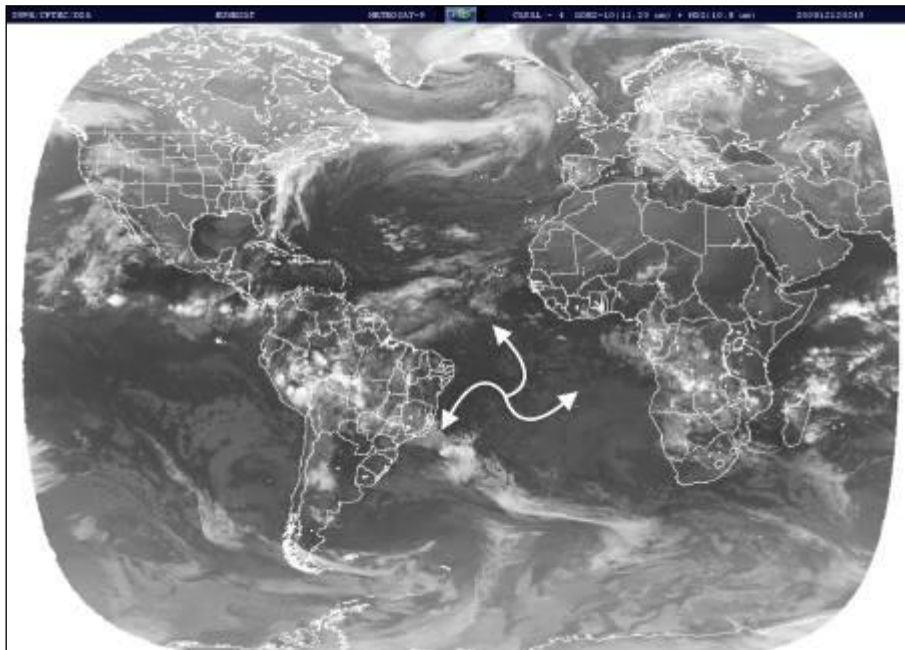


Figura 3 – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) na imagem dos satélites GOES+METEOSAT, no canal infravermelho do dia 12 de dezembro de 2008 às 14:45 horas local. Fonte: CPTEC, modificada pelos autores.

Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior (VCAS)

Em nível regional destaca-se o Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior (VCAS). De acordo com a FUNCEME, o VCAS, que atua sobre a região, forma-se no Oceano Atlântico entre os meses de outubro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro.

Segundo Amorim (2007) esse sistema influencia de forma significativa na precipitação da região, tendo como característica marcante a ocorrência de precipitações na sua periferia enquanto no seu centro predomina céu claro ou pouquíssimas nuvens.

No centro do VCAS ocorre um movimento de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens (Figura 4). Sua gênese está vinculada a média/alta troposfera, diferente dos no hemisfério Norte que se forma em média troposfera, sobre o Nordeste do Brasil (NEB) ou Oceano Atlântico e adjacências (ALVES, FERREIRA e REPELLI, 1996).

Kousky e Gan (1981) e Gan (1983) apud (ALVES, FERREIRA e REPELLI, 1996) mostraram que o VCAS tem um centro frio e apresenta-se mais frequente nos meses de verão austral (dezembro e janeiro). Para eles, o mecanismo para a manutenção do VCAS consiste na conversão de energia potencial em energia cinética pelos processos de descendência de ar seco, no centro do vórtice, e a ascendência de ar quente na sua periferia.

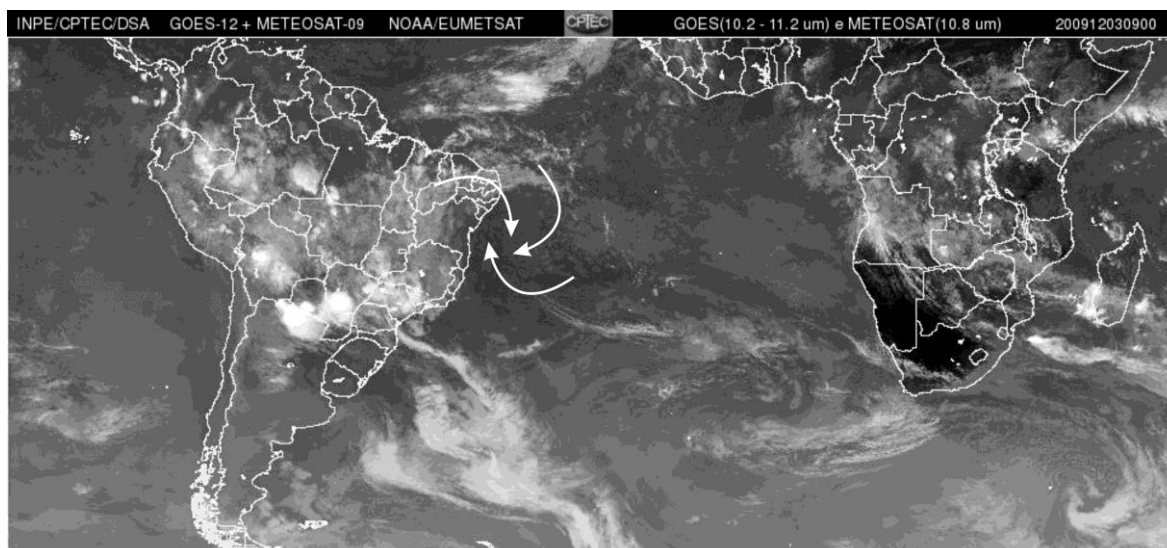


Figura 4 – Modelo esquemático do Vórtice Ciclone da Atmosfera Superior (VCAS) na imagem dos satélites GOES+METEOSAT, no canal infravermelho do dia 03 de dezembro de 2009 às 15 horas local. Fonte: CPTEC/INPE/MCT, 2009.

Complexo Convectivo de Meso Escala (CCM)

O quarto sistema que influencia na climatologia da precipitação da região em estudo, constitui um sistema de mesoescala, cuja gênese está relacionada a uma forte advecção de umidade em escala local.

Segundo Amorim (2007), esse sistema tem entre 50 a 1000Km² de extensão estando relacionado à quantidade de radiação disponível para convecção na superfície terrestre, com um ciclo de vida entre 06 e 18 horas. Sua atuação é marcada por ocorrer de forma isolada, com intensas pancadas de chuva, relâmpagos, nebulosidade cumuliforme e trovoadas.

A Figura 05 mostra um complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) atuando sobre a região de estudo no dia 20/02/2009 às 17:00h local.



Figura 05 – Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) na imagem de satélite GOES, canal infravermelho do dia 20/02/2009 às 17:00h local. Fonte: CPTEC, modificada pelos autores.

Linhas de Instabilidade (LI)

O quinto e último sistema a influenciar na precipitação de região em estudo são as Linhas de Instabilidade (LI), cuja atuação está concentrada entre o fim da primavera e início do outono. As LI que atingem a região formam-se sobre os Estados do Pará e Tocantins se deslocando para Leste (NIMER, 1989).

No Rio Grande do Norte as LI conseguem penetrar quando o ASA diminui de intensidade e raramente conseguem ultrapassar a região central, no sentido interior para o litoral, do Estado, impedida pela atuação do ASA. A Figura 06 apresenta linhas de Instabilidade (LI) atuando sobre a região de estudo no dia 19 de fevereiro de 2009, às 20h:00 local.



Figura 06 - Linhas de Instabilidade (LI) na imagem de satélite GOES, no canal infravermelho no dia 19/02/2009 às 20h:00 horas local.

Fonte: CPTEC, modificada pelos autores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi fundamentada em trabalho de gabinete, coleta de informações em instituições de pesquisas, na internet, bibliotecas e observações de campo. Os dados foram tratados utilizando técnicas de estatística descritiva e modelos estatísticos de sazonalidade. O tratamento estatístico e elaboração dos gráficos foram executados utilizando o software Excel. A espacialização das informações de precipitação foi realizada através de técnicas de geoprocessamento (geoestatística) contidas no software Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) versão 5.0.2 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), distribuído gratuitamente na internet.

A edição do layout do mapa de precipitação e adequação as normas cartográficas, foi realizada no software de geoprocessamento ArcGis versão 9.2, desenvolvido pela ESRI. De forma objetiva, a pesquisa transcorreu executando os seguintes procedimentos metodológicos:

Pesquisa Bibliográfica

As pesquisas bibliográficas em periódicos, livros e trabalhos técnicos pertinentes ao assunto estudado, serviram para nortear cientificamente o trabalho, delimitar geograficamente os sistemas sinóticos que influenciam na precipitação e levantar as condições geográficas da área de estudo. Por fim, foram correlacionadas as informações obtidas com os resultados da nefanálise de imagens de satélites meteorológicos e processamento estatístico dos dados de precipitação.

Aquisição dos Dados de Precipitação

Os dados de precipitação foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), a qual tem 06 estações pluviométricas dentro e nas áreas lindeiras a microbacia. A média de anos de coleta, para todos os postos, foi de 57 anos. A Tabela 01 apresenta a média de anos de dados para cada estação, suas respectivas coordenadas geográficas e a precipitação média anual.

Tabela 01 Estações de coleta de dados de precipitação e seus respectivos anos de dados utilizados no trabalho

Estações	X	Y	Anos de observações	Precipitação média anual
Itaú	611906648382.0	9354076041635.0	60	724.6
Apodi	626279898292.0	9377805867289.0	64	719.2
Malhada	620475316597.0	9360008498048.0	87	684.5
Tabuleiro Grande	603890797470.0	9342625021115.0	76	778.9
Riacho da Cruz	615914573837.0	9345936159579.0	49	746.1
Rodolfo Fernandes	603155799800.0	93.596.243.687.0	05	784.4

Estatística Descritiva

Foram realizados tratamentos estatísticos de medidas de tendência central (média, mediana e moda), momentos (assimetria, curtose e coeficiente de assimetria), medidas de dispersão (valores: máximos, mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação) e separatrizes (quartis), cuja finalidade foi de avaliar a consistência dos dados e organizar os resultados de forma fractual para aplicação na distribuição de probabilidade de Gauss.

Avaliação da Sazonalidade da Precipitação

Na análise da série temporal da precipitação foi utilizado o seu índice sazonal, cujo objetivo principal foi a delimitação do período chuvoso, em especial o período que ocorre erosão do solo.

Segundo Fonseca (1984) um método de se equalizar o índice de sazonalidade, pode ser realizado a partir do método da porcentagem média, cujo processo é relativamente simples,

consistindo em exprimir os dados para cada subperíodo como percentagem da sua média anual. A média ou mediana das percentagens dos diferentes anos resultam no índice sazonal para cada subperíodo, conforme equacionamento abaixo:

$$DIS_i = \left(\frac{\sum_{i=1}^{12} IP_i}{N} - \overline{IS}_i \right)$$

$$IP_i = \left(\frac{P_i}{\overline{P}_i} \right) * 100$$

$$\overline{IS}_i = \left(\frac{\sum_{i=1}^{12} \overline{IP}_i}{N} \right)$$

Onde,

DIS_i → Desvio médio de Índice de Sazonalidade (%);

\overline{IP}_i → Índice de Sazonalidade média parcial (%);

P_i → Precipitação mensal (mm);

\overline{P}_i → Precipitação média mensal (mm);

IS_i → Índice de Sazonalidade mensal (%);

\overline{IS}_i → Índice de Sazonalidade médio mensal (%);

N → Número de dados da amostra.

O primeiro passo consiste em organizar os dados em uma matriz de forma que se tenha nas colunas a componente temporal (meses e anos), enquanto que nas linhas tem-se a variável precipitação (média), conforme pode ser observado na Tabela 02.

O índice expressa a variação percentual da precipitação fundamentado na média histórica da precipitação.

Tabela 02 – Organização matricial dos dados de precipitação no período de 1962 a 2008

Mês	Anos							
	1962	1963	1964	1965	1966	1967	.....	2008
Jan	68,9	19,0	106,0	51,4	68,1	0,0	.....	97,0
Fev	98,3	50,7	149,6	0,0	226,5	182,7	.....	30,0
Mar	186,1	373,9	249,6	156,2	124,1	227,9	.....	455,0
Abr	172,2	343,8	248,9	254,7	42,5	240,9	.....	182,0
Mai	89,5	0,0	111,6	60,5	47,5	113,9	.....	184,0
Jun	47,0	0,0	27,6	105,9	53,1	0,0	.....	54,0
Jul	0,0	0,0	94,1	15,5	56,3	0,0	.....	56,0
Ago	0,0	0,0	24,6	0,0	0,0	0,0	.....	9,0
Set	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.....	0,0
Out	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.....	0,0
Nov	0,0	5,4	0,0	0,0	16,2	0,0	.....	0,0
Dez	129,0	88,7	0,0	0,0	0,0	24,5	.....	0,0
Média mensal	65,9	73,5	84,3	53,7	52,9	65,8	.....	88,9

Distribuição de Gauss Normalizada

Através da aplicação da distribuição de Laplace e Gauss normalizada foi possível encontrar a probabilidade de ocorrer anos com precipitação fraca, moderado, forte e fortíssima. A distribuição Normalizada de Laplace e Gauss apresenta como resultado uma curva normalizada (Figura 07) e sua formula é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty$$

Onde,

$\pi \rightarrow 3,14159$

$e \rightarrow 2,71828$

$\mu \rightarrow$ média

$\sigma \rightarrow$ desvio padrão

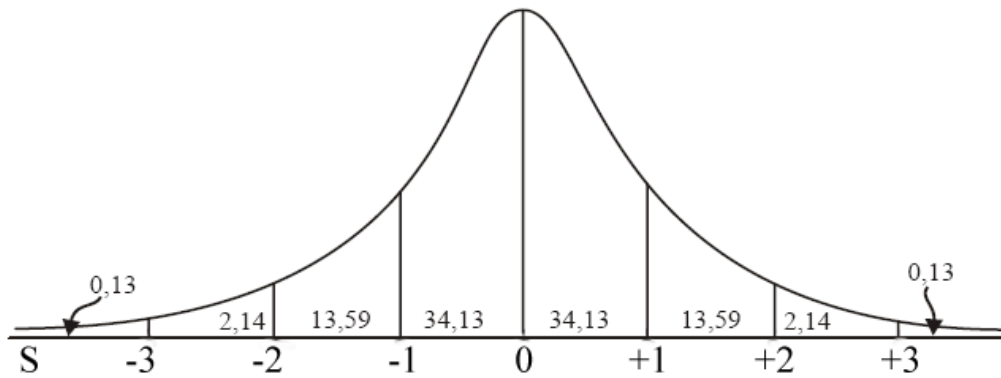


Figura 07 – Modelo da Distribuição de Gauss

Espacialização dos Dados de Precipitação

Os dados de precipitação pluviométrica média anual, foram importados para o software, Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING 5.0), através do menu de importação no formato ASCII-SPRING, entidade amostra do Modelo Numérico de Terreno (MNT).

Por meio da função, Modelo Numérico de Terreno (MNT), gerou-se uma grade retangular utilizando o interpolador média simples. O valor de numérico de cada ponto da grade é estimado a partir da média simples das cotas dos 8 vizinhos mais próximos desse ponto, conforme equação abaixo e apresentado na Figura 02 onde é possível visualizar o processo de interpolação utilizando os valores mais próximos espacialmente.

$$f(x, y) = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^8 P_i \right)$$

onde:

n → Número de vizinhos

P → Precipitação dos 8 pontos vizinhos

i → 1

$f(x, y)$ → Função interpolante

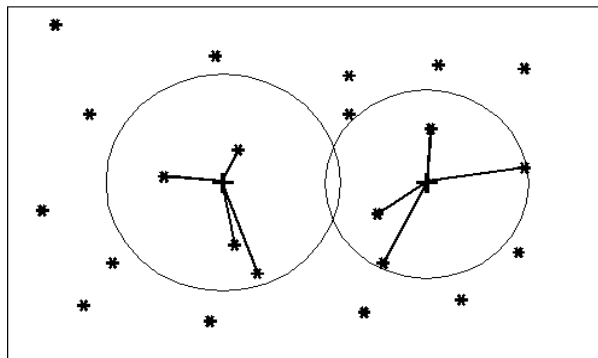


Figura 08 – Modelo do interpolador Média Simples

Sistemas Sinóticos

Para a identificação dos sistemas sinóticos atuantes na região um levantamento bibliográfico sobre a climatologia do Estado e a nefanálise nas imagens do satélite GOES (GEOSTATIONARY OPERATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITES) e Meteosat no canal infravermelho, utilizando escalas global e local. O processo de nefanálise foi realizado em conjunto com as análises dos dados de precipitação. As imagens foram adquiridas no site do Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPETEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 09 mostra a espacialidade da precipitação na microbacia, com uma variação espacial de leste para oeste, sendo que a oeste tem-se valores máximos de 784,5mm e a leste, tem-se os valores mínimos de 680mm. Os resultados demonstram que ocorrem variações, significativas, espaciais na precipitação na área em estudo. Considera-se a variação média de 100mm como sendo significativa, na medida que analisa-se o tamanho do polígono e seu relevo que não ultrapassa 130m. Não esquecendo que o sistema sinótico predominante é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), tem uma maior intensidade na medida que se distancia do centro do semiárido.

Observa-se que a estação com menor precipitação é Malhada Vermelha (684,5mm) que fica na porção mais a nordeste, próximo ao exutório da microbacia.

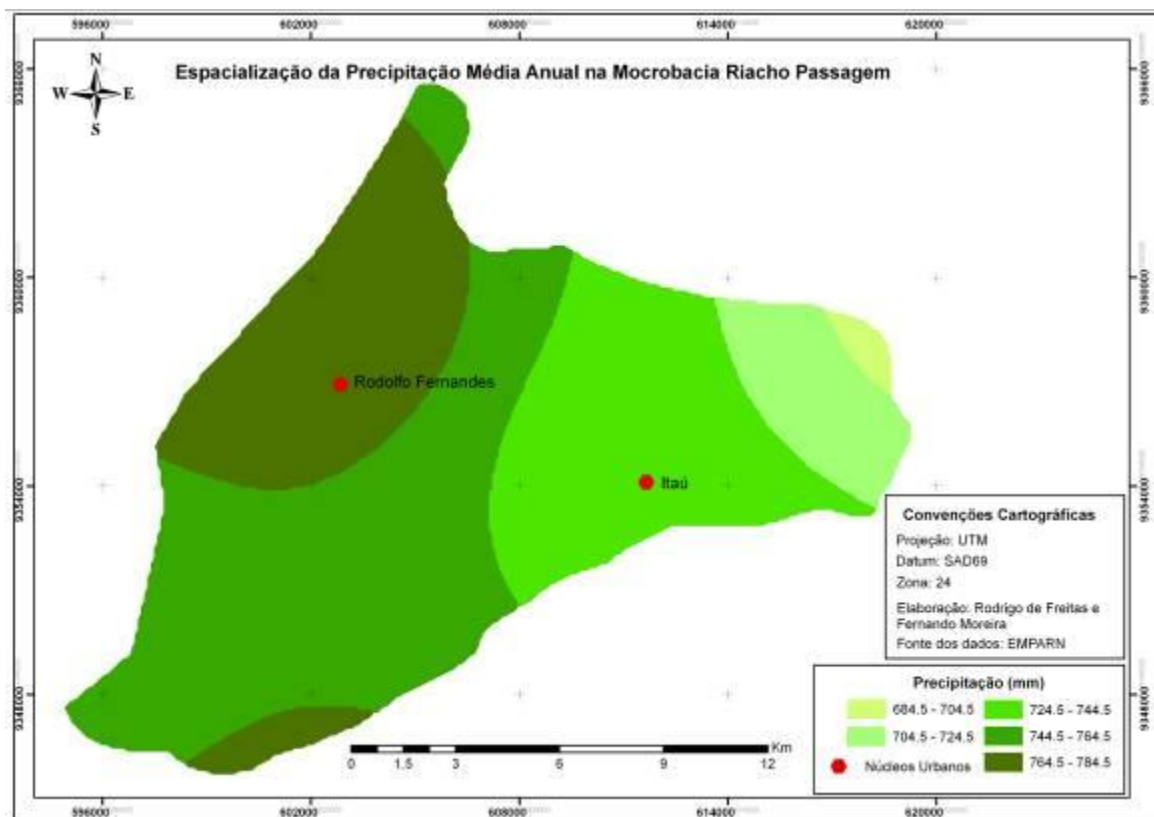


Figura 9 – Espacialização da Precipitação na Microbacia Riacho Passagem

O Gráfico 01 apresenta a média da variação mensal da precipitação em escala anual, constatando-se a distinção entre dois períodos distintos, um chuvoso iniciando em janeiro e indo até meados de maio e outro seco iniciando em meados de maio e se prolongando até o fim de dezembro, com destaque para os três meses mais chuvosos, fevereiro, março e abril. Apesar dos meses de junho a dezembro encontrarem-se inseridos no período seco e apresentar-se com valores médios de precipitação, esse fato deve-se a sistemas sinóticos transientes e convecção cumulus.

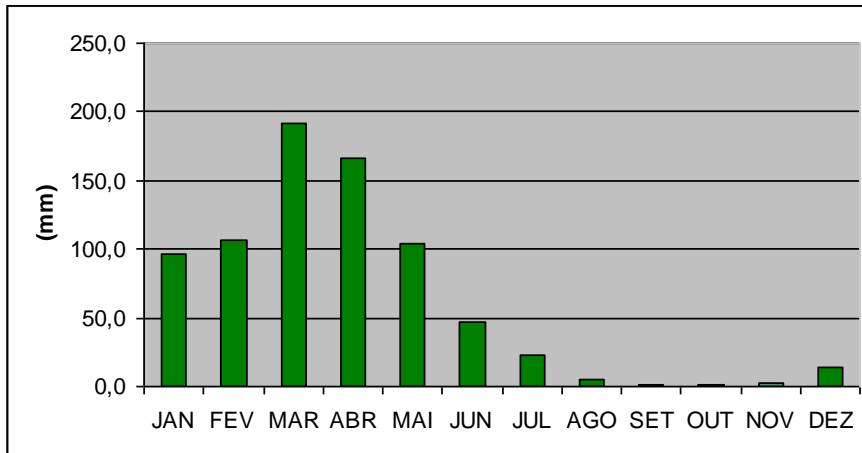


Gráfico 01 Precipitação média anual (mm) para Microbacia Riacho Passagem

A Tabela 03 mostra as classes de precipitação com suas probabilidades de ocorrências, bem como uma classificação nebulosa (fraco, moderado, forte e fortíssimo). Há uma probabilidade de 12,09% de chover entre 554,1mm e 650,6mm, ao passo que se tem uma probabilidade de 29,39% de chover entre 881,5 e 1682,9mm, respectivamente, o que demonstra que a microbacia Riacho Passagem tem boas possibilidades de se ter um período chuvoso com forte intensidade.

A classificação nebulosa demonstra que, apesar da microbacia localizar-se em região semiárida, ela dispõe de um significativo volume hídrico, se comparado a outras regiões como Israel, por exemplo, onde a precipitação média anual chega a 500mm.

Tabela 03 Classificação nebulosa e probabilidade de ocorrência de precipitação na Microbacia Riacho Passagem

Limite inferior (mm)	Limite superior (mm)	Probabilidade (%)	Qualificação
169,3	502,0	19,37	Fraco
554,1	650,6	12,09	Moderado
670,0	867,3	26,24	Forte
881,5	1682,9	29,39	Fortíssimo

Na avaliação de curtose a distribuição apresentou um valor de 1,184, evidenciando uma curva platicúrtica (achatada) demonstrando que os dados estão mais dispersos na sua temporalidade.

Quanto a assimetria, a curva apresentou-se positiva, ou seja, o período chuvoso começa antes do mês de junho, aumentando assim a resolução temporal da distribuição.

O índice de sazonalidade, Gráfico 02, mostra claramente que o período chuvoso da microbacia começa com fraca intensidade em Janeiro, mas a partir de fevereiro a curva torna-se com ascendência forte com um pico no mês de março. A curva passa a decrescer com

inclinação branda e voltando a atingir um índice nulo em meados do mês de maio. Esse comportamento é bem característico da sazonalidade da Zona de Convergência Intertropical, e representa com bastante significância a sua sazonalidade, delimitando assim, o início e o fim do período chuvoso.

A partir de maio o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul volta a predominar com precipitações de baixa intensidade e até nulas.

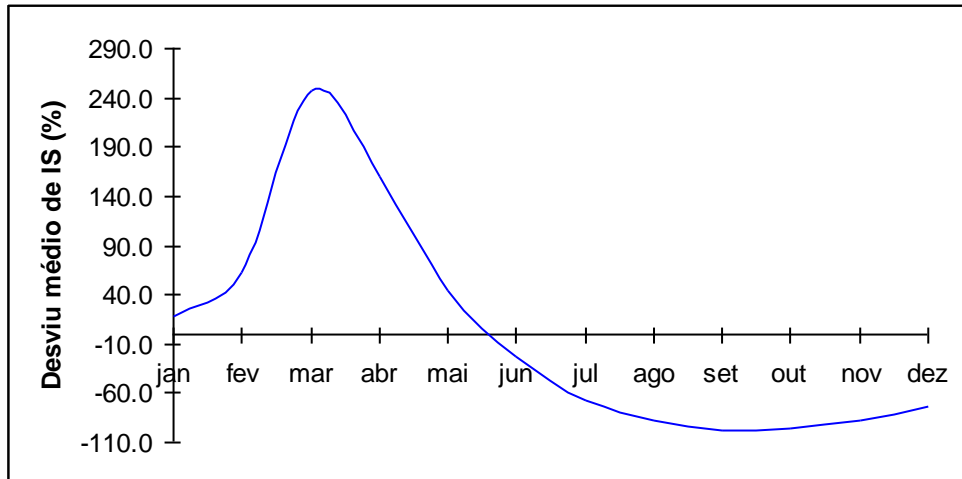


Gráfico 02 - Comportamento do Índice Sazonal Efetivo da precipitação

Os resultados encontrados são capazes de fornecer, com precisão, uma estimativa do comportamento espacial, temporal e sazonal da precipitação, mostrando que é possível informar o início e término do período chuvoso, com aplicação imediata a modelos que abordam a erosão. Como também, vem complementar os trabalhos que abordam o tema para o semiárido (NIMER 1989; ALVES, FENEIRA E RAPELLI 1996; SILVA, COSTA e SOUSA 1999 e MELO *et al.* 2002), que avaliam e descrevem as condições e características da precipitação em escala regional para o Nordeste do Brasil. Entretanto, os já citados autores avaliam a precipitação em nível de nordeste e o presente estudo deteve-se a estudar o comportamento sazonal e espacial da precipitação em escala local.

Com base nos resultados obtidos, observa-se que o comportamento espaço-temporal da precipitação na microbacia Riacho Passagem encontra-se relacionado à escala espacial e o período de atuação dos sistemas sinóticos que condicionam a precipitação na região. Dentre os sistemas, a Zona de Convergência Intertropical é responsável pelo início e término do período chuvoso, sendo sistemas transientes como o Vórtice Ciclônico de Atmosfera Superior e as Linhas de Instabilidade são responsáveis por ocorrências de precipitações espasmódicas.

No que tange a variação espacial, ela decorre principalmente em razão da atuação dos Complexos Convectivos de Mesoescala, atuante no período que a ZCIT está atuando sobre a região, sendo o VCAS e as LIs sistemas secundários no entendimento da variação espacial da precipitação. Quanto a variação sazonal, verifica-se que há uma correlação com as variações de intensidade dos Anticiclones do Atlântico e Norte, os quais influenciam no movimento anual de migração para o Sul da ZCIT.

O comportamento espaço-temporal da precipitação na área de estudo, demonstram que quando se aplica a EUPS utilizando dados médios anuais, tem-se um aumento do erro dos valores de perda de solo. A imprecisão nos resultados está vinculada à variação anual de precipitação, uma vez que a maior parte das chuvas concentra-se em três meses (fev. mar. Abr.) e a estocasticidade espacial da precipitação relacionada a atuação dos CCM.

Os resultados aqui encontrados poderão subsidiar uma política estadual de planejamento em microbacia através de zoneamento e estratégias de manejo em consonância com a capacidade de suporte do meio ecológico. Bem como, a espacialização da precipitação pode ser sobreposta a declividade do relevo gerando as áreas com maior potencial de ocorrência de erosão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do clima na microbacia ser semiárido, onde ocorrem anos que chovem com forte intensidade, a exemplo de 1985 que choveu 1682,9mm e anos de pouca precipitação como 1991 que choveu 191,4mm, no período estudado 29,4% dos dados apresentaram precipitação acima de 800mm. O que comparado com outras regiões do mundo, como Israel, por exemplo, onde chove em média 500mm ano e tem um agricultura bastante desenvolvida, a microbacia tem um elevado índice pluviométrico. Contudo, observa-se que a adoção de técnicas, muitas vezes desenvolvidas para outras regiões, que não são adequadas às condições ambientais e sociais da região, proporciona a degradação ambiental.

Há necessidade de um monitoramento no comportamento de dois sistemas sinóticos, A Zona de Convergência Intertropical e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, pois o primeiro está relacionado ao período chuvoso da região, enquanto o segundo, sendo fisicamente inverso do primeiro, influencia diretamente a estação não chuvosa da microbacia e principalmente aos períodos com um mínimo de precipitação.

Vale salientar, que o monitoramento de sistemas que influenciam na precipitação, o conhecimento das suas variações sazonais e respectiva espacialização não são condições necessárias apenas para planejar melhor as práticas agrícolas, mas sim, para praticamente todas as atividades desenvolvidas na microbacia, em razão da grande influência dessa variável nas atividades econômicas.

A forma metodológica de abordagem, índice de sazonalidade, apesar de ser relativamente simples, foi capaz de distinguir o início e o fim da estação chuvosa, que agregado a informações da literatura, vê-se que o sistema sinótico ZCIT, está relacionado com a estação chuvosa, enquanto que os sistemas transientes (VCAS e LI) e efêmeros (CCM), não definem a estação chuvosa, o que torna o índice como um modelo eficaz no entendimento da dinâmica hidrológica, devendo auxiliar na aplicação e desenvolvimento de modelos erosivos no semiárido do Nordeste do Brasil.

Considerando quatro classes no regime pluviométrico da microbacia fraco, moderado, forte e fortíssimo, há uma probabilidade de 31,46% de chover fraco ou moderado e 55,63% de chover forte ou fortíssimo, o que demonstra que a microbacia Riacho Passagem tem boas possibilidades de se ter um período chuvoso com forte intensidade.

Quando o objetivo é o desenvolvimento sustentável, torna-se imprescindível conhecer as características e potencialidades do meio natural, bem como destacar a variável mais importante. Desta forma, a precipitação na região em estudo pode ser considerada como a variável mais influente, do ponto de vista natural, bem como na influenciando na dinâmica social.

Desta forma, só é possível vislumbrar sustentabilidade em uma região onde os recursos naturais são escassos e a grande maioria da população tem baixo grau de instrução, planejando atividades compatíveis com as características do meio natural, e em especial as variações sazonais da precipitação. Uma vez que a precipitação é um dos principais agentes influenciadores na geografia dos lugares.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida**. *Estudos Avançados*, São Paulo, v.13 n.36, 1999.

AB'SÁBER, Aziz Nacib. Caatingas: o domínio dos sertões. In: _____. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p. p. 83-100.

ALVES, José M. Brabo; FENEIRA, Nivaldo S.; RAPELLI, Carlos A. um estudo diagnóstico das características atmosféricas associadas a atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre atlântico tropical sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.11, p. 44-58, 1996.

AMORIM, Rodrigo de Freitas. *Potencial natural à erosão (PNE) na Microbacia do Riacho Passagem Itaú/RN*. 66 f. **Monografia** (Bacharelado em Geografia) – UFRN. CCHLA, Dep. De Geografia, Natal/RN, 2007.

AMORIM, Rodrigo de Freitas; SILVA, Fernando Moreira da. *Modelagem do processo de vulnerabilidade à erosão do Solo utilizando o SPRING*. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5073-5080.

BEIJO, Luiz Alberto *et al.* Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-147, 2003.

BERTONI J.; LOMBARDI Neto. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n 1, p. 15-28, dez. 2005.

FONSECA, Jairo Simon; MARTINS, Gilberto de Andrade; TOLEDO, Geraldo Luciano. **Estatística aplicada**. 2.Ed. São Paulo, Atlas, 1985.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). **Para entender o prognóstico**. Disponível em: <http://www.funceme.br/DEMET/progno/prog2002/terceiro/entender.htm>. acessado em 16/03/09 as 18:31.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: informações estatísticas**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>, acesso: 11/04/09 as 19:47.

LEFF, Enrique. **O saber ambiental**. Petrópolis: Vozes, 2001.

PEREIRA, Livia Maria Pederzini; CARAMORI, Paulo Henrique; *et al.* Determinação do início e término da estação chuvosa no estado do Paraná. **Revista Geografar**. Curitiba, v.3, n.2, p.01-12, jul./dez. 2008.

PEREIRA, Wilson; TANAKA, Osvaldo K. **Estatística: conceitos básicos**. 2. Ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1984.

ITO, Ester Regina Kazuko; AMBRIZZI, Tércio. **Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno**. Disponível em: www.criatividadecoletiva.net/cbm-files/12afbc30497d15bc6e14dba837028f49a.pdf -. Acesso: 10/04/2009 as 20:22.

MELO, Anna Bárbara Coutinho de; *et al.* *A zona de convergência intertropical sobre o oceano atlântico: climatologia*. In: **Anais XII Congresso** Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

SPRING versão 5.0 São José dos Campos/SP: **Instituto Nacional de Pesquisas espaciais**, 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>> Acesso em 06 ago. 2008.

SILVA, Fernando Moreira; COSTA, Ana Mônica de Brito; SOUSA, Bernadete de Q. Circulação Global e sua Influência nos sistemas sinóticos atuantes no Nordeste do Brasil – fase 1. **Sociedade e Território**, Natal/RN, v. 13, n. 1, p. 44-49, jan./jun. 1999.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planing. **Agriculture Handbook** nº 537. 1978.

Texto submetido à RBClimate na data de 11/05/2014