**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de
Rondônia: caracterização e análise de tendência**

Deise Nunes Furlan

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente
Agrícola**

**Piracicaba
2009**

Deise Nunes Furlan
Bióloga

**Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado
de Rondônia: caracterização e análise de tendência**

Orientador:
Prof. Dr. **LUIZ ROBERTO ANGELOCCI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente
Agrícola

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Furlan, Deise Nunes

Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência / Deise Nunes Furlan. - - Piracicaba, 2009.

129p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Chuva - Variabilidade 3. Desmatamento - Rondônia 4. Distribuição espacial I. Título

CDD 551.5781
F985v

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICO

*Ao meu pai, José Carlos,
que me ensinou a ser forte e ter coragem
para alcançar os meus sonhos.*

*A minha mãe, Mirtes, o meu anjo da guarda,
com quem aprendi que é preciso
serenidade e paciência na caminhada da vida.*

*E aos meus irmãos, Jean e Hiago,
sinônimos de alegria, união e amor.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido vida e saúde durante a realização desse trabalho, além de paciência, dedicação, determinação, e sempre acreditar que os meus objetivos seriam alcançados. Tenho certeza que tudo isso foi possível, acima de tudo, pela permissão dele.

Ao meu pai, agradeço pelo exemplo de pai e pessoa em minha vida. Tenho certeza que sou o seu espelho na força de vontade, na coragem e na dedicação. Obrigada por acreditar em mim e acima de tudo nas minhas decisões. Isso foi determinante na minha caminhada até aqui.

A minha mãe, muito obrigada por me ensinar que na vida é preciso serenidade. Isso me ajudou a ter o equilíbrio necessário para discernir a hora certa de avançar na minha caminhada, assim como o momento de ser paciente. Obrigada pela amizade, o incentivo e o amor incondicional.

Aos meus irmãos, Jean e Hiago, agradeço pelos incentivos, a amizade, o carinho, o amor. Obrigada, Jean, por me ensinar que a vida acontece hoje e o amanhã não nos pertence. A você, Hiago, o meu eterno “bebê”, agradeço por me ensinar que na vida, às vezes, é necessário ter a inocência e a eterna alegria de ser criança.

Ao Gabriel... Obrigada por me ensinar a ver a vida com os olhos do amor! Obrigada pela amizade, o incentivo, o carinho e acima de tudo pela compreensão. Foi muito bom passar por essa fase tendo você ao meu lado. Você ilumina a minha vida!

Aos meus primos Ediel, Neide e Lésle, muito obrigada pelo incentivo, o apoio e sempre terem acreditado em mim. Vocês partilharam comigo dessa conquista, quando ela ainda parecia um sonho distante. Só vocês sabem o quanto foi difícil a primeira vinda a Piracicaba e mesmo estando em uma fase que mais precisavam de ajuda ainda foram fortes e capazes de me ajudar. Eternamente serei grata por isso. Atitudes como essas somente são dignas de pai para filho, por isso não posso deixar de dizer que vocês serão eternamente a minha segunda família.

Agradeço ao Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental – LABOGEOPA/UNIR, em especial ao Prof. Dorisvalder Dias Nunes, onde inicie as minhas atividades científicas. Obrigada pelos ensinamentos e incentivos em dar continuidade aos meus estudos com o mestrado. Obrigada aos amigos que sempre torceram por mim e deixam grande saudade, Aldina, Joiada, Dani, Taty, Ana, Madá, Cleyton, Ricardo, Léo...

Ao grande amigo Luiz Jardim de Queiroz, obrigada pela amizade incondicional!

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP e ao Curso de Pós Graduação em Física do Ambiente Agrícola, muito obrigada pela oportunidade para a realização desse curso.

Muito obrigada de forma especial ao Prof. Paulo Cesar Sentelhas quem primeiro acreditou em mim e na minha capacidade para a realização desse trabalho. Obrigada pela confiança, a amizade, o carinho e os incentivos. Acho que se não fosse pelo seu voto de confiança talvez esse trabalho não teria sido realizado. Meus sinceros agradecimentos!

Ao Prof. Angelocci, obrigada por me permitir aprender o quanto a docência exige dedicação e acima de tudo amor. A oportunidade em ser sua aluna me ensinou muito mais do que a escrever um trabalho de dissertação, me ensinou a ter amor pelo que se faz. Tenho uma grande admiração e respeito pelo Sr. Obrigada por todos os conhecimentos compartilhados.

Obrigada aos Prof. que me permitiram explorar um pouco desse mundo novo da agronomia para uma bióloga. Prof. Sérgio Morais, Nilson Villa Nova, Valter Barbieri, Fábio Marin, meus agradecimentos pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço aos funcionários do Departamento de Ciências Exatas pela colaboração na realização desse trabalho, Ângela, Fernando, Robson e Francisco (*Chiquinho*).

Aos amigos de Pós-Graduação, agradeço ao Gabriel Blain e Alexandre Barros. Com toda certeza vocês foram o meu braço direito na realização desse trabalho. Sem vocês tenho certeza que teria sido muito mais difícil. Obrigada por acreditarem em mim e sempre estarem dispostos nos momentos que precisei.

Meus agradecimentos ainda aos colegas e amigos, Indriati, pelas conversas de apoio; Adriano, pela grande amizade construída; Leandro e Marlon, pelos momentos de brincadeiras e descontração; Fábio, pelas alegrias nos cafezinhos da tarde; Jones, pela companhia; Andrea, pelos conselhos no desenvolvimento do trabalho. Muito obrigada a todos vocês!

Obrigada a Vila da Pós Graduação pela moradia estudantil e as minhas companheiras de casa pela paciência e o respeito. Obrigada a Michele, pela amizade e a ajuda nas análises estatísticas; Marina, com quem aprendi muito com as diferenças; Julieth, pela atenção e amizade e a Shirley, em quem descobri uma grande amiga, uma irmã.

Agradeço a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – CEPLAC de Ouro Preto d’Oeste e ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pelos dados meteorológicos gentilmente concedidos para a realização desse trabalho.

Obrigada ao CNPq pela bolsa concedida para a realização desse estudo.

“(…)
Como sentinelas avançadas
Somos destemidos pioneiros
Que dessas paragens de um poente,
Gritam com força,
Somos Brasileiros
“(…)”

Hino de Rondônia
(Joaquim de Araújo Lima e Dr. José de Melo e Silva)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Desmatamento e mudanças climáticas	23
2.1.1 Desmatamento na Região Amazônica.....	23
2.1.2 A contribuição do desmatamento para as mudanças climáticas.....	24
2.2 Preenchimento de dados faltantes e análise de consistência	28
2.2.1 Utilização de geradores meteorológicos no preenchimento de dados faltantes	29
2.3 Função Densidade de Probabilidade Gama – FDPG.....	33
2.4 Distribuição espacial da precipitação	36
2.5 Testes de tendência e sua aplicação em climatologia e hidrologia.....	39
2.6 Balanço Hídrico.....	42
2.7 Desmatamento no estado de Rondônia.....	43
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1 Área de estudo	45
3.2 Dados meteorológicos	46
3.3 Preenchimento de falhas e análise de consistência.....	51
3.3.1 Gerador de dados climáticos – CLIMGEN	51
3.3.2 Método de Duplas Massas.....	52
3.4 Função Densidade de Probabilidade Gama - FDPG	53
3.5 Análise multivariada.....	54
3.6 Teste de tendência Mann Kendall	56
3.7 Método De Balanço Hídrico Climatológico.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Preenchimento de falhas – CLIMGEN.....	59
4.2 Análise de consistência – Método de Duplas Massas	67

4.3 Função Densidade de Probabilidade Gama – FDPG	71
4.4 Análise multivariada	92
4.5 Teste de tendência Mann-Kendall.....	99
4.6 Balanço hídrico de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho	107
5 CONCLUSÕES	117
REFERÊNCIAS.....	119

RESUMO

Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência

Com os significativos índices de desmatamento na região Amazônica, grande é a preocupação sobre os efeitos que essa mudança na cobertura vegetal pode ter sobre a dinâmica climática e pluviométrica dessa região, como também em outras localidades do Brasil. Dentro desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo verificar se os atuais índices de desmatamento em Rondônia, ocorridos nos últimos 30 anos, são suficientes para contribuir para a modificação do regime hídrico e pluviométrico. Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos juntos à Agência Nacional de Águas – ANA e são provenientes de 29 postos pluviométricos instalados no estado de Rondônia. Essa é uma região de pequena disponibilidade de dados meteorológicos devido à colonização recente, sendo que as séries dificilmente passam de 30 anos de dados. Além disso, essas séries são comprometidas por falhas na coleta de dados, que em algumas localidades chegam a apresentar mais de um ano sem registro. Para que as análises fossem possíveis, foi realizado o preenchimento das falhas nas séries de dados através do gerador de dados CLIMGEN. Em seguida, os dados foram analisados pelo método de Duplas Massas para que eventuais falhas e inconsistências nas séries preenchidas pelo CLIMGEN fossem detectadas. Como passo seguinte, os dados foram submetidos ao ajuste de distribuição de probabilidade pela função Gama, para que fossem identificadas regiões homogêneas quanto à distribuição de probabilidade da chuva em Rondônia. Acompanhando essa análise foi utilizada a análise de agrupamento para que fossem identificadas as localidades e os meses com precipitação semelhante. Finalmente, os dados de precipitação foram submetidos ao teste de tendência Mann-Kendall, assim como as variáveis do balanço hídrico sequencial das localidades de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho. Os resultados mostram que o CLIMGEN é uma ferramenta que pode ser utilizada no preenchimento de falhas em séries de dados em Rondônia, porém o método de Duplas Massas identificou inconsistências em duas localidades, sendo que as mesmas foram descartadas nas análises seguintes. Quanto à função gama foi verificado um menor grau de assimetria na distribuição de probabilidade da precipitação nos meses mais chuvosos. Nos meses secos, junho, julho e agosto, a distribuição de probabilidade da precipitação é mais assimétrica, sendo semelhante entre todas as localidades. Acompanhando a distribuição gama, a análise de agrupamento mostrou uma heterogeneidade espacial na distribuição da precipitação. Finalmente, as análises de tendência não identificaram mudanças sistemáticas que indiquem que o estado de Rondônia esteja passando por mudanças no regime pluviométrico no período analisado, sendo as tendências observadas possivelmente decorrentes da variabilidade climática natural. As séries de temperatura máxima e mínima de Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste apresentaram tendências, com indícios de aumento principalmente da temperatura mínima. Quanto às análises de tendência nas variáveis do balanço hídrico foram verificadas tendências de aumento principalmente da ETR e ETP. Os resultados permitiram concluir que apesar do significativo aumento da área desmatada em Rondônia, isso ainda não foi suficiente para que mudanças no clima fossem identificadas, sendo necessárias análises de séries mais longas.

Palavras-chave: Distribuição da precipitação; Mann-Kendall; CLIMGEN

ABSTRACT

Temporal and spatial variability of rainfall and water balance in the state of Rondônia, Brazil: characterization tendency analysis

Amazon deforestation rate has been significant, resulting in a great concern about the effect that the reduction of the forest can have on the climatic dynamics in this region, as well as in other Brazilian locations. In such context, the present work aimed to verify if the current rate of deforestation in Rondônia, last 30 years has been contributed for changes in the rainfall and balance patterns. Data from 29 rainfall stations in Rondônia State which belongs to the National Water Agency – ANA were used for this purpose. This is a region of small availability of weather data due to recent settling, with the data series hardly passing of 30 years. Moreover, those data series are compromised by imperfections in the collection of data, resulting in missing data. To have this study feasible, the through the weather missing data were filled out data generator CLIMGEN. After that, the data was analyzed by the method of Double Masses so that imperfections and inconsistencies in the series filled out with CLIMGEN were detected. As a next step, the data were submitted to the adjustment of the Gamma distribution of probability to identify homogeneous regions in relation to the rainfall distribution of probability in Rondônia. Sveh analysis was applied to identify the localities and months with similar rainfall pattern. Finally, the rainfall data was submitted to Mann-Kendall trend test, as well as the variables of the sequential water balance in Ouro Preto d'Oeste and Porto Velho locations. The results showed that the CLIMGEN is a tool that can be used to fill out missing data in series of Rondônia; however the method of Double Masses identified inconsistencies in two localities, which were not considered in the analyses. The Gamma distribution function presented a smaller degree of asymmetry in the distribution of rainfall probability in the rainy months. Dry months, like in June, July and August, the distribution of rainfall probability is more asymmetrical, being similar among all evaluated locations. Following Gamma the distribution, the cluster analysis showed spatial heterogeneity in the rainfall distribution. Finally, the tendency analyses did not identified systematic changes which indicated that Rondônia State is having changes in the rainfall pattern during the analyzed period, being verified only oscillations of natural order in the climate. The series of maximum and minimum temperature of Porto Velho and Ouro Preto d'Oeste presented positive tendency, mainly in the minimum temperature. For the variables of the water balance, positive tendencies were detected for ETR and ETP. The results allowed to conclude that although the significant increase of the deforested area in Rondônia, this was not enough yet to cause changes in the climate, being necessary analyses of longer series.

Keywords: Rainfall distribution; Mann-Kendall; CLIMGEN

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas – ANA, no estado de Rondônia.....	48
Figura 2 – Relação entre os dados de precipitação gerados (Gerado) e corrigidos (Corrigido) empregando-se o modelo CLIMGEN em diferentes localidades de Rondônia.....	66
Figura 3 – Relação entre a precipitação acumulada em cada uma das localidades de Rondônia e a precipitação acumulada da região.....	70
Figura 4 – Distribuição de probabilidade nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em diferentes localidades do estado de Rondônia.....	76
Figura 5 – Distribuição de probabilidade nos meses de março, abril e maio em diferentes localidades do estado de Rondônia.....	79
Figura 6 – Distribuição de probabilidade nos meses de junho, julho e agosto em diferentes localidades do estado de Rondônia.....	82
Figura 7 – Distribuição de probabilidade nos meses de setembro, outubro e novembro em diferentes localidades do estado De Rondônia.	85
Figura 8 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 320mm no mês de janeiro	89
Figura 9 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 300mm no mês de fevereiro.....	89
Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 300mm no mês de março	89
Figura 11 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 180mm no mês de abril.....	89
Figura 12 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 90mm no mês de maio	90
Figura 13 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 20mm no mês de junho	90
Figura 14 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 10mm no mês de julho	90
Figura 15 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 30mm no mês de agosto.....	90
Figura 16 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 105mm no mês de setembro....	91
Figura 17 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 165mm no mês de outubro.....	91
Figura 18 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 220mm no mês de novembro..	91
Figura 19 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 300mm no mês de dezembro...	91
Figura 20 – Dendrograma da análise de agrupamento das diferentes localidades do estado de Rondônia com características pluviométricas semelhantes.....	94

Figura 21 – Gráfico de “ <i>Biplot</i> ” obtido pela análise de componentes principais da precipitação em diferentes localidades do estado de Rondônia.....	96
Figura 22 – Gráfico de “ <i>Biplot</i> ” obtido pela análise de componentes principais da precipitação do estado de Rondônia em diferentes meses.....	96
Figura 23 – Dendrograma de análise de agrupamento dos meses com características pluviométricas semelhantes no estado de Rondônia.....	98
Figura 24 – Tendência seqüencial de mudança no regime de precipitação nas localidades de Ariquemes, Colorado d’Oeste, Marco Rondon, Pedreiras, Pimenteiras e Tabajara.....	103
Figura 25 – Tendência seqüencial de mudança nas temperaturas mínimas na localidade de Porto Velho.....	105
Figura 26 – Extrato do balanço hídrico climatológico normal para Porto Velho e Ouro Preto d’Oeste para as CADs de 75 mm, 100 mm e 150 mm.....	112
Figura 27 – Análise de tendência seqüencial do excedente e déficit hídrico da localidade de Ouro Preto d’Oeste para CAD de 150 mm.....	114
Figura 28 – Análise de tendência seqüencial do excedente e déficit hídrico da localidade de Porto Velho para CAD de 150 mm.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área desmatada por município de Rondônia até o ano de 2007.....	44
Tabela 2 – Localização dos postos pluviométricos e período de cada uma das séries de precipitação do estado de Rondônia	47
Tabela 3 – Continuidade temporal das séries de dados meteorológicos das localidades de Rondônia. (*) Anos com falhas; (C) Anos contínuos.....	50
Tabela 4 – Comparação entre as séries geradas e corrigidas pelo CLIMGEN.....	60
Tabela 5 – Coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância (d) e índice de confiança (c) para a comparação entre as médias mensais dos valores gerados e preenchidos de chuva nas localidades de Rondônia	64
Tabela 6 – Coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância (d) e índice de confiança (c) do método de Duplas Massas para as séries geradas e corrigidas pelo programa CLIMGEN	68
Tabela 7 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov	75
Tabela 8 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de março, abril e maio. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov	78
Tabela 9 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de junho, julho e agosto. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov	81
Tabela 10 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de setembro, outubro e novembro. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov	84
Tabela 11 – Períodos das séries de Rondônia que apresentaram tendências nos valores de precipitação. (+) Aumento da precipitação. (-) Diminuição da precipitação.....	100
Tabela 12 – Períodos das séries de temperatura máxima e mínima de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho que apresentaram tendências. (+) Aumento da temperatura. (-) Diminuição da temperatura.....	104

Tabela 13 – Balanço hídrico médio de Porto Velho (1978 – 2007) para CAD de 150 mm	109
Tabela 14 – Balanço hídrico médio de Ouro Preto d'Oeste (1982 – 2007) para CAD de 150 mm	110
Tabela 15 – Tendência dos parâmetros do balanço hídrico, DEF, EXC, ETP e ETR das localidades de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho. (+) Aumento dos parâmetros. (-) Diminuição dos parâmetros.....	113

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal compreende os estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Acre, Amapá e partes dos estados de Tocantins, Mato Grosso e Maranhão. É a maior floresta tropical úmida do mundo com uma área total de aproximadamente 7 milhões de km², o que representa cerca de 56% das florestas tropicais. Além disso, é cortada pelo rio Amazonas e seus afluentes, representando aproximadamente 20% do total de água doce do planeta.

A floresta Amazônica permaneceu praticamente intacta até a década de 70, com a abertura da rodovia Transamazônica. A partir disso, nessas últimas três décadas essa região, tem passado por um processo acelerado de ocupação, que levou ao desmatamento de 14% de sua área (COHEN et al., 2007). Essa ocupação ocorre no chamado “arco do desmatamento”, uma extensa faixa, situada ao longo do limite sul da área de transição entre o cerrado e a floresta, impulsionada pela expansão da fronteira agrícola, que compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Pará, Mato Grosso e Rondônia.

O ciclo hidrológico e o clima regional podem sofrer influência das alterações na dinâmica da vegetação, devidas mudanças naturais e antrópicas, como vem ocorrendo no arco do desmatamento. As mudanças naturais fazem parte dos ecossistemas que, apesar de interferirem no clima, não atuam de modo comprometedor na disponibilidade hídrica da região. Como exemplo, podemos citar fenômenos intrínsecos aos ecossistemas, como o fogo nos cerrados e os de origem fenológica, como a decíduidade na maioria das espécies da caatinga como mecanismo que visa à redução do consumo de água durante o período de estiagem. As mudanças de origem antrópica são as que apresentam maior impacto modificador da paisagem, sendo o desmatamento a prática mais comum no caso da floresta Amazônica (LINHARES, 2006).

Os efeitos do desmatamento na Amazônia sobre o clima regional tem sido avaliados por meio de estudos observacionais e de modelagem. Estudos observacionais realizados em áreas de pastagem e floresta em Rondônia têm mostrado uma redução da absorção de radiação solar, da evapotranspiração e da umidade do ar na pastagem em comparação com a floresta, porém, com relação à modificação da precipitação, não são apresentados dados conclusivos. Apesar do maior potencial de refletividade da radiação solar pela pastagem, a temperatura do ar sobre ela tende a aumentar devido à diminuição da evapotranspiração (ALVES; FISCH; VENDRAME, 1999; CORREA et al., 2007; FISCH et al., 1997). Além disso, as mudanças nos ecossistemas

amazônicos devem provocar impactos na umidade da atmosfera e, conseqüentemente, no ciclo hidrológico, com a intensificação dos gradientes horizontais de temperatura e umidade, induzindo a um aumento da precipitação associado a circulações locais, enquanto o suprimento de umidade for suficiente para manter a precipitação e o desmatamento não atingir grandes áreas (CORREA et al., 2007).

Uma alternativa bastante utilizada para a contabilização da chuva e da evapotranspiração que ocorre em um ecossistema, é o balanço hídrico. Dentre os diferentes métodos, o que vem sendo mais empregado é o modelo de balanço de Thornthwaite e Mather (1955), o qual é relativamente simples e de base climatológica, sendo utilizado para estimar a disponibilidade de água no solo para a comunidade vegetal.

O balanço hídrico climatológico pode ser amplamente aplicado em diversas áreas de conhecimento como a agricultura, hidrologia, meteorologia, entre outras, e está associado principalmente a informações sobre a época mais apropriada para o preparo do solo, semeadura e plantio e a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação ou drenagem (BERGAMASCHI et al., 1999).

Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) destacam as principais aplicações do balanço hídrico climatológico na área de caracterização da disponibilidade hídrica regional, caracterização dos períodos de seca e seus efeitos na agricultura, e ainda na área de zoneamento agroclimático, como base para classificação de uma região como apta, marginal ou inapta em função de exigências térmicas e hídricas dos cultivos, indicando os períodos menos sujeitos às restrições hídricas.

São muitos os trabalhos envolvendo o emprego do balanço hídrico (ALMEIDA NETO et al., 2004; COLLISCHONN; TUCCI, 2001; D'ANGIOLLELA; VASCONCELLOS; ROSA, 2005; HORIKOSHI; FISCH, 2007; ROSOLEM, 2005; SILVA DIAS; COHEN; GANDÚ, 2005; VICTORIA; BALLESTER; PEREIRA, 2005), sendo que a maioria dos trabalhos que usaram esse método está na área de hidrologia e climatologia.

Com a aplicação climática do balanço hídrico, Sentelhas et al. (1994) avaliaram as alterações térmicas e hídricas em Campinas, SP, relacionadas ao desmatamento ocorrido ao longo de 102 anos no Estado. Outro estudo utilizando balanço hídrico com objetivo de quantificar os efeitos da cobertura vegetal sobre os processos evaporativos e das alterações climáticas devido ao desmatamento foi desenvolvido por Bezerra e Trindade (2006), no município de Porto Velho,

RO. Nesse estudo foi caracterizado o regime pluviométrico e o desmatamento em Porto Velho, ocorrido desde a década de 70 e não foi observado nenhum indicativo de que as variações no regime hídrico sejam influenciadas pelo desmatamento, ao contrário do observado para Campinas por Sentelhas et al. (1994) que apesar de não identificarem uma relação direta entre os totais de precipitação e o desmatamento, verificaram um aumento nos índices de deficiência hídrica e diminuição do excedente hídrico devido ao aumento da temperatura, que faz com que a demanda evaporativa aumente.

Entre os trabalhos na área de hidrologia utilizando o balanço hídrico, a maioria são desenvolvidos em microbacias experimentais, onde é possível monitorar variáveis que comprovem a importância da cobertura florestal para o equilíbrio hidrológico e regulação do clima, porém esses resultados não são esclarecedores para bacias de grande porte. Isso ocorre porque grandes áreas tendem a formar mosaicos com diferentes usos do solo e práticas agrícolas, além da heterogeneidade na geologia, topografia e classes de solos.

Essa variabilidade espacial, aliada às variações temporais do regime de precipitação, torna difícil a integração dos fatores para a compreensão dos processos. Mesmo o sinal sendo claramente detectado em pequena escala, ele se dilui em escalas maiores (MARTINS et al., 2007). Outro problema em quantificar as alterações em grandes áreas é a dificuldade na obtenção de longas séries que sejam significativamente representativas da área estudada e que disponham de um longo período com dados confiáveis, para os quais dificilmente se tem acesso (COLLISCHONN; TUCCI, 2001).

A partir da década de 1970, Rondônia foi o Estado que apresentou um dos maiores índices de desmatamento na região Amazônica. Considerando que a substituição da cobertura florestal por pastagens e agricultura pode ter efeito sobre o regime pluviométrico regional, uma hipótese a ser testada é se o regime de precipitação em Rondônia está apresentando tendências de aumento ou diminuição e se o presente índice de desmatamento no Estado pode contribuir para essa variação.

Essa hipótese pode ser testada por meio de análises estatísticas que detectem tendências na precipitação, porém a principal dificuldade nesse tipo de estudo é a pequena disponibilidade de longas séries climatológicas na Amazônia, que permitam caracterizar a situação do clima na região antes e após o início do desmatamento.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivos gerais:

Caracterizar o regime pluviométrico de diferentes localidades do estado de Rondônia por meio de análises estatísticas de séries referentes ao período de 1977 – 2006;

Verificar se tem havido tendência de mudança do regime pluviométrico ao longo dos últimos 30 anos em decorrência do desmatamento;

Identificar possíveis tendências de mudanças na evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico obtidos por meio do balanço hídrico sequencial, para duas localidades específicas do Estado.

E como objetivos específicos:

Analisar as séries de precipitação, realizando o preenchimento de falhas por meio do programa gerador de dados climáticos CLIMGEN e verificar a consistência dos dados das diferentes localidades;

Comparar a distribuição de frequência de precipitação mensal das localidades estudadas, testando o ajuste da distribuição Gama aos dados;

Por meio do uso de análise multivariada, agrupar localidades e meses com similaridade no regime pluviométrico;

Utilizar o teste de Mann-Kendall com a finalidade de identificar possíveis tendências de mudanças no regime de precipitação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desmatamento e mudanças climáticas

2.1.1 Desmatamento na Região Amazônica

O estado de Rondônia começou a ser colonizado a partir da década de 70, o que desencadeou um rápido desmatamento associado à emergência da região como “frente agrícola”. Este processo de expansão teve grande propulsão com a construção da rodovia Cuiabá – Porto Velho (BR-29), hoje conhecida como BR-364. A implantação dessa rodovia refletia os objetivos estratégicos do governo de Juscelino Kubitschek, que considerava a construção de rodovias federais como um meio de descentralizar a população de cidades do litoral, de expandir mercados para a indústria de bens de consumo baseadas no centro-sul, além da criação de acesso às matérias-prima existentes no interior do país (DIEGUES, 1999).

Pelo grande número de migrantes da região sul e sudeste atraídos pelos incentivos do governo, o desmatamento no estado era o meio de estabelecer os direitos fundiários sobre a terra. Fearnside (1986) já estudava a explosivo aumento do desmatamento nos estados de Rondônia e Mato Grosso e no Sul do Pará. Entre os Estados localizados na Amazônia Legal, esse autor verificou que Rondônia apresentava aumento do desmatamento de forma exponencial, constituindo com Mato Grosso os Estados que mais desmatavam, enquanto que o Amapá era o estado com o progresso de desmatamento mais lento. Nessa época já era previsto o aumento do desmatamento ao longo do eixo da rodovia Cuiabá – Porto Velho, adentrando o estado de Rondônia, que tinha como principal finalidade a ocupação de terras. Estudos mais recentes prevêem o contínuo aumento do desmatamento devido à abertura e pavimentação de estradas vicinais (SOARES-FILHO et al., 2005).

Atualmente, as causas do desmatamento estão associadas principalmente à pecuária e à expansão da agricultura. Quase duas décadas depois, Fearnside (2005) relata que os responsáveis pelos elevados índices de desmatamento são as fazendas de grande e médio porte de criação de gado, como as dos estados do Mato Grosso, responsável por 26% do desmatamento ocorrido em 1991 em fazenda maiores que 1000 ha, e de Rondônia, onde o desmatamento nesse mesmo ano

correspondeu a 10% do total, sendo os pequenos fazendeiros os principais responsáveis pela retirada da cobertura florestal.

Na década de 90, Reis e Margulis (1991) relataram que as causas do desmatamento na Amazônia eram devidas à derrubada da floresta para a agricultura, conhecida como agricultura de corte e queima. Nesse processo, a exploração madeireira era um subproduto da derrubada para a agricultura e a conversão dessa área em pastagem só ocorria em um segundo estágio. Aproximadamente dez anos após, Margulis (2003) afirma que a pecuária é a principal responsável pelo desmatamento, e que a agricultura, com as lavouras de soja, não tem tido impacto direto nos índices de desmatamento, pois esta ocupa uma parcela pequena do cerrado já antropizado e as perspectivas de expansão nas áreas de florestas são reduzidas. Isso mostra que nos tempos atuais a agricultura continua tendo uma contribuição para o desmatamento, porém de forma indireta, pois à medida que as lavouras avançam sobre as áreas de pastagem, os rebanhos migram para as áreas de floresta ou para as regiões de agricultura de corte e queima, que também acabam se deslocando para a floresta (COSTA, 2000).

As áreas mais suscetíveis ao desmatamento pelas lavouras de soja são as das regiões de transição entre floresta-cerrado, localizadas principalmente na fronteira entre os estados de Mato Grosso e Rondônia. Esse processo pode ocasionar os seguintes impactos na Amazônia: aumento da taxa de desmatamento (associados à perda de biodiversidade, aumento da erosão do solo, comprometimento do regime hidrológico e alterações climáticas), deslocamento de pequenos produtores rurais (populações tradicionais), migração de outras atividades econômicas que empurram a fronteira do desmatamento para o interior da Amazônia (AMARAL; FERRAZ; SMERALDI, 2005; FBOMS, 2005; FEARNSSIDE, 2001). Além disso, áreas mecanizadas para o plantio de grãos apresentam uma drástica redução da capacidade de regeneração natural da floresta, ou seja, se a soja falhar na região mecanizada, a floresta secundária levará muito mais tempo para se restabelecer (PEREIRA; VIEIRA, 2001).

2.1.2 A contribuição do desmatamento para as mudanças climáticas

Nos últimos anos o impacto do desmatamento sobre o clima tem tido repercussão mundial. Muitos são os estudos envolvendo simulação climática que prevêem aumento da

temperatura, diminuição da evapotranspiração real e aumento da concentração de CO₂ pela ação antrópica na Amazônia. Segundo Nobre, Sampaio e Salazar (2007), as causas das mudanças climáticas podem ser devido a três fatores: causas naturais; alterações no uso do solo dentro da própria região Amazônica; e ações antrópicas. Nesse contexto, diferentes vertentes climáticas surgem na análise do desmatamento e das ações antrópicas.

Fearnside (2006) relata dados de previsões catastróficas com o aumento da temperatura na Amazônia que variam de 6°C a 50°C devido o aumento da concentração de CO₂. Outros estudos indicam, ao contrário do aumento da temperatura, um esfriamento da terra (MOLION, 2007). Por mais polêmica que seja a questão das mudanças climática, a importância da floresta Amazônica é incontestável.

Com a finalidade de verificar o quanto a recirculação do vapor d'água dentro da bacia Amazônica é proveniente da cobertura vegetal ou de fontes de vapor provenientes do oceano Atlântico, Dall'Olio et al. (1979) utilizaram o oxigênio-18 (¹⁸O) na forma isotópica e, de acordo com as concentrações desse elemento, confirmaram que a contribuição do vapor d'água gerado pelas plantas foi da ordem de 50% da precipitação e que a contribuição do vapor gerado dentro da região é da mesma ordem de grandeza que o vapor proveniente do oceano.

Ainda na década de 70, outros estudos foram desenvolvidos sobre a importância da cobertura vegetal da Amazônia na circulação de vapor e da importância nos eventos de precipitação. Villa Nova, Salati e Matsui (1976) estudaram os índices de evapotranspiração real e potencial na Amazônia Brasileira e verificaram que 90 % da evapotranspiração potencial é devida ao balanço de energia realizado pela densa cobertura vegetal, enquanto que 10% é devida ao fator aerodinâmico como a umidade relativa do ar, a temperatura e a velocidade do vento. Sendo assim, qualquer alteração nas características da cobertura do solo implicaria não só em alterações do balanço de energia, como também na dinâmica do escoamento, afetando diretamente o processo evaporativo. Esses autores ainda alertam que a transpiração pelas plantas representa, em média, 61,8% do balanço hídrico, o que indica que o intensivo desmatamento da região Amazônica poderá trazer alteração no ciclo hidrológico.

Diferentes estudos comprovam que a Amazônia é importante fonte de vapor de água para a atmosfera, com um essencial papel na formação de nuvens e da chuva, inclusive para outras regiões do Brasil (CORREIA et al., 2007) e que os atuais níveis de desmatamento conduzirão a um processo de desertificação e mudanças climáticas na própria região (TARIFA, 1992).

Trabalhos em escala microclimática, desenvolvidos no estado de Rondônia, comprovam o aumento da temperatura e da velocidade do vento, e a diminuição das chuvas e da evapotranspiração em pastagens quando se compara com medidas realizadas em áreas de floresta (ALVES; FISCH; VENDRAME, 1999; FISCH et al., 1997; GALVÃO; FISCH, 2000; RESCHKE, 1997). Na estação seca, é comprovado que em regiões de floresta a evapotranspiração é maior que em áreas de pastagem, o que é possível graças ao fato da floresta ter um sistema radicular bastante desenvolvido que possibilita a busca de água no subsolo (KLEIDON; HEIMANN, 1999). Na estação chuvosa, os valores de evapotranspiração são similares nos dois tipos de cobertura vegetal. Além da variação na temperatura e evapotranspiração, o desmatamento associado com as queimadas afetam a formação de nuvens e de chuvas, reduzindo as chuvas em determinadas regiões e aumentando-as em outras, tanto no período chuvoso como no período de estiagem (COHEN et al., 2007; SILVA DIAS; COHEN; GANDÚ, 2005).

A importância da cobertura florestal também é comprovada em trabalhos da área de hidrologia. Santiago (2005) simulou três cenários (pastagem, soja e floresta) para a bacia do rio Ji-Paraná, localizada na região leste de Rondônia e observou que no período de estiagem nos dois primeiros cenários a vazão do rio poderá aumentar 16% e 70% respectivamente. Linhares, Soares e Batista (2005) também verificaram que a cobertura vegetal tem papel importante na manutenção e na disponibilidade de água em microbacias, pois a retirada da floresta pode acarretar uma série de alterações no meio físico, como a diminuição nas taxas fotossintéticas e de evapotranspiração, afetando, conseqüentemente, as taxas de precipitação.

Esses resultados comprovam a importância da cobertura florestal para os ciclos hidrológicos e as variações no regime pluviométrico devido a modificação da cobertura florestal, o que é um ponto de apoio para as discussões de mudanças climáticas.

Todos os estudos de mudanças climáticas na Amazônia enfocam o aumento do desmatamento que vem ocorrendo nos últimos anos como sendo a principal causa das mudanças no regime climático, seja na própria região amazônica ou com influências em outras localidades do Brasil e do Mundo.

Em Rondônia não é diferente, os dados mostram que as áreas desmatadas para a utilização na pecuária e na agricultura vem crescendo assustadoramente nas últimas décadas, porém quantificar os efeitos que esse desmatamento está ocasionando no regime climático do Estado

não é tarefa fácil. Muitos fatores podem interferir no clima de uma região territorial como as próprias condições climáticas dos Estados limítrofes, bem como de toda uma região, como a Amazônia.

Vários estudos tiveram por objetivo verificar os efeitos do desmatamento no regime climático. Marengo (2006) fez uma revisão sobre o ciclo hidrológico na Amazônia e verificou que o desmatamento pode ter certas conseqüências no clima amazônico, como aumento da temperatura do ar de 1 a 2,5°C, diminuição da evapotranspiração de 15 a 30%, diminuição da chuva durante a estação chuvosa de 5 a 20% e o prolongamento da estação seca. Nessa situação o aumento da temperatura está associado principalmente com a diminuição da evapotranspiração que faz com que aumentem os níveis de calor sensível.

D'Almeida et al. (2006), também tentaram verificar os efeitos do desmatamento em diferentes tamanhos de áreas desflorestadas. Em todas as condições de desmatamento o modelo utilizado no estudo comprovou a diminuição da evapotranspiração e a redução nos fluxos hidrológicos conforme o aumento da área desmatada. Quanto à precipitação, o modelo sugere que ela pode ou não aumentar nas áreas de desmatamento entre 100 e 100.000 Km², porém pode diminuir conforme aumente a área desmatada.

Esses resultados ainda sugerem que para altos níveis de fragmentação, as mudanças no campo de convergência de vapor d'água seguidas pela intensificação do gradiente de fluxo de calor horizontal, entre áreas desmatadas e não desmatadas pode gerar circulações convectivas anômalas e conseqüentemente chuva.

Ferraz, Canteiro Capão e Vettorazzi (2006), estudaram as taxas de desmatamento ocorridas na localidade da Bacia do Quatro Cachoeiras em Rondônia no período de 1984 a 2002 e verificaram que as taxas de desmatamento são significativas para provocar drásticas mudanças na paisagem em intervalos de dois anos, dependendo da dinâmica do uso da terra na área. Sendo assim, se as atividades de uso da terra em Rondônia não mudarem em menos de dez anos, mudanças significativas de redução da cobertura vegetal já terão ocorrido, estabelecendo as condições necessárias para as mudanças climáticas acontecerem.

2.2 Preenchimento de dados faltantes e análise de consistência

Entre as principais dificuldades dos estudos do clima amazônico, está a falta de dados climáticos representativos, ou seja, séries que tenham pelo menos trinta anos. Além dessa dificuldade, deve-se considerar as falhas existentes ou erros grosseiros nas séries devido a problemas com os aparelhos de registro ou com o operador do posto. Entre as causas de erros mais grosseiros nas observações podem ser citados: preenchimento errado na caderneta de campo; soma errada do número de preenchimento do volume das provetas; valor estimado pelo observador; crescimento da vegetação ou outra obstrução próxima ao posto de observação; danificação do aparelho; problemas mecânicos no registrador gráfico.

Como há a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas nas séries de dados devem ser preenchidas. Além disso, após o preenchimento das falhas, há a necessidade de se comprovar a consistência dos dados dentro de um contexto regional, ou seja, comparar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis em um posto com as observações registradas nos postos vizinhos.

O preenchimento das falhas de precipitação pode ser feito pelos seguintes métodos: média aritmética de valores de estações vizinhas ou método de ponderação regional; método de ponderação pelo inverso da distância do posto com falha e pelo método de regressão linear (mínimos quadrados). Todos esses métodos são freqüentemente utilizados no preenchimento de falhas mensais e anuais.

Quando se utiliza algum dos métodos citados anteriormente para o preenchimento de falhas nas séries de dados, há a necessidade de análise de consistência dos dados de cada estação em relação aos dados observados em estações vizinhas.

Entre os métodos mais utilizados, está o de duplas massas, que consiste em se construir um gráfico em coordenadas cartesianas ortogonais, onde em um dos eixos é colocado os totais anuais ou mensais acumulados de um determinado posto e, no outro, a média acumulada dos totais anuais de todos os postos da região, ou um posto confiável adotado como base de comparação. Para isto, os dados da estação que se deseja verificar devem constituir uma reta em relação aos valores médios das outras estações. Se houver alteração da reta, significa que os dados não são homogêneos ou não foram corretamente medidos (FEPAM, 2003; NICOLAU, 2002; OMETO, 1981; PELLEGRINO, 1995).

Para que a análise de duplas massas não seja apenas gráfica o teste de Willmott (1981) e o índice de confiança “c” de Camargo e Sentelhas (1997), podem ser utilizados para confirmar o ajuste entre os totais acumulados do posto a ser analisado e do posto de referência. Conforme relatam Wissmann et al. (2006), o teste de Willmott é um eficiente método matemático para avaliar o teste de homogeneidade de duplas massas.

2.2.1 Utilização de geradores meteorológicos no preenchimento de dados faltantes

Além dos diferentes métodos discutidos no item anterior, o preenchimento de falhas em séries de dados meteorológicos pode, ainda, ser feito pela média de dados observados (normal climatológica) ou dados sintéticos obtidos através de modelos que tem a finalidade de gerar dados diários. Esses modelos utilizam simulação matemática e estimam a ocorrência de variáveis climáticas, gerando um conjunto de valores numéricos, denominado série sintética, com as mesmas características estatísticas da série histórica observada.

O preenchimento de falhas em escala diária é importante principalmente para a utilização de modelos de simulação de culturas agrícolas. Além disso, os simuladores de dados climáticos permitem se ter séries de dados que possibilitem seu uso na racionalização dos recursos hídricos destinados à irrigação.

Do ponto de vista ambiental, séries pluviométricas confiáveis são importantes para a eficaz previsão de eventos impactantes ao ambiente, devido à grande influência que a precipitação tem sobre as condições ambientais, além dos efeitos no balanço hídrico, nas temperaturas do ar e do solo, na umidade do ar e na radiação solar incidente.

No sentido de preencher as falhas nas séries de dados meteorológicos em escala diária, com o avanço da Ciência da Computação, muitos pesquisadores tem desenvolvido modelos que facilitam o gerenciamento e simulação de dados climáticos. Entre os modelos mais utilizados destacam-se: WGEN – Weather Generation (RICHARDSON; WRIGHT, 1984), SIMMETEO (GENG; PENNING DE VRIES; SUPIT, 1986), CLIGEN – Climate Generator (NICKS; LANE; GANDER, 1995), CLIMGEN – Climatic Data Generation (NELSON, 2002), GEN – Generation of Weather Elements for Multiple Applications (JOHNSON, 2003)

No Brasil, os modelos desenvolvidos que tem ganhado destaque são: GEPAC – Gerador Estocástico de Parâmetros Climáticos (VIRGENS FILHO, 1997), SIMPREC – Simulador Estocástico de Dados Diários (NASCIMENTO et al., 2000), SEDAC_R – Simulador Estocástico de Dados Climáticos (VIRGENS FILHO, 2001), CLIMA 2005 (CHIBANA et al., 2005) e ClimaBR (OLIVEIRA, 2003; ZANETTI; OLIVEIRA; PRUSKI, 2005).

O desempenho desses simuladores pode ser avaliado aplicando-se os dados de clima gerados pelos simuladores de dados em modelos de produtividade. Sentelhas et al. (2001) avaliaram o desempenho de geração de dados dos modelos WGEN e SIMMETEO para as condições brasileiras, com a finalidade de simulação da produtividade. Os autores verificaram que o rendimento da cultura estudada, quando estimada com os dados de tempo simulado não diferiram significativamente dos dados reais, o que indica que os geradores de dados podem ser utilizados nas condições brasileiras para a estimativa da produtividade.

Soltani e Hoogenboom (2007) também compararam os dados climáticos gerados pelo WGEN e pelo SIMMETEO no Irã, com a finalidade de avaliar os períodos de colheita para diferentes culturas e encontraram bons resultados para os dois simuladores. Os dados climáticos gerados pelos dois simuladores confirmam as mesmas datas de plantio indicadas pelos dados observados, possibilitando as práticas de manejo com irrigação das culturas e a definição de datas de colheita.

Chibana et al. (2005), compararam os dados estimados pelo modelo CLIMA 2005 e os dados gerados pelos modelos WGEN e SIMMETEO para as variáveis temperatura e precipitação. Tanto o CLIMA 2005 como o WGEN E SIMETEO foram eficientes para o preenchimento de falhas de temperatura, porém, como já se sabe, a variável precipitação é mais difícil de ser estimada. Nessa situação, os melhores ajustes entre os dados gerados e observados foram obtidos pelos modelos WGEN e SIMMETEO.

O desempenho do simulador CLIGEN foi avaliado no Brasil por Evangelista et al. (2006), e foi verificado um bom desempenho em estimar os dados climáticos. Para os autores, o CLIGEN pode ser considerado como uma alternativa promissora para a geração de séries sintéticas de elementos climáticos, porém, o desempenho do modelo deve ser confirmado para outras localidades.

Outro simulador que tem sido utilizado na geração de dados é o CLIMGEN. Os resultados produzidos por esse modelo tem sido comparados com os dados climáticos observados e de

maneira geral tem mostrado bons ajustes. Mckague, Rudra e Ogilvie (2003) utilizaram o CLIMGEN na estimativa de dados para estações localizadas em Ontário – Canadá, e verificaram que os dados produzidos pelo CLIGEM eram tão bons ou melhores que os estimados pelo WGEN, quando comparados aos dados observados.

O CLIMGEN também foi testado para simular séries sintéticas de dados climáticos de oito localidades em Camarões, que apresentam clima com característica desde tropical a equatorial (TINGEM et al., 2007). Os resultados das análises estatísticas, comparando a série gerada com a observada, mostram que os dados gerados pelo CLIMGEN são representativos dos dados reais. Entre as oito localidades, apenas uma não apresentou resultados significativos, o que os autores consideram como um alerta à necessidade e calibração dos geradores de dados para as localidades onde estão sendo utilizados.

Com a finalidade de desenvolver um modelo para as condições brasileiras, Nascimento et al. (2000), desenvolveram uma ferramenta computacional para a simulação de dados pluviométricos chamada SIMPREC – Simulador Estocásticos de Dados Diários. Esse modelo foi avaliado com os dados de precipitação pluviométrica de 44 anos da localidade de Ponta Grossa – PR e concluiu-se que o SIMPREC pode ser utilizado com alto grau de confiabilidade.

Virgens Filhos (1997) desenvolveu primeiro o modelo de simulação de dados GEPAC. Com o avanço e melhoria dos modelos, esse mesmo autor desenvolveu o SEDAC_R, que além da simulação de dados diários de precipitação também simula dados de radiação solar global e temperatura extremas do ar, baseadas num algoritmo de parametrização de distribuições de probabilidade.

Comparando o GEDAC, SEDAC_R e LARS_WG para a simulação de dados de temperatura das localidades de Campinas, Piracicaba e Campos do Jordão, no estado de São Paulo, Virgens Filho, Leite e Cataneo (2006), verificaram por meio do coeficiente de correlação “r” de Pearson, do índice de exatidão “d” de Willmott (WILLMOTT, 1981) e do coeficiente de confiança “c” apresentado por Camargo e Sentelhas (1997), que os três simuladores de dados apresentaram desempenhos semelhantes e muito bons.

Como foi observado, muitos trabalhos, tanto no exterior quanto no Brasil, tem comparado as séries históricas de dados gerados pelos simuladores de dados com as séries históricas observadas, além de comparar as séries geradas por diferentes simuladores. O que fazem os

dados serem mais representativos dos dados reais, ou um modelo ser melhor que outro é o princípio estatístico dos métodos.

Calibrando o modelo ClimaBR para diferentes regiões brasileira, Zanetti, Oliveira e Pruski (2005), confirmam a importância do princípio estatístico envolvido na simulação das séries sintéticas. O modelo utiliza o processo estocástico denominado cadeia de Markov de primeira ordem para calcular as probabilidades condicionais de chuva, o que proporciona que as simulações da distribuição do número de dias chuvosos sejam representativas da realidade mesmo em condições de grande variabilidade climática encontradas no território brasileiro.

Ao contrário do modelo ClimaBR, o aplicativo CLIMA (CHIBANA et al., 2005), utiliza métodos mais simples para o preenchimento das falhas, por exemplo: média de valores em períodos de diferentes durações no mesmo ano, sendo anteriores ou posteriores à data da falha; média histórica ou normal; ou utilizando dados de outra estação. Como o próprio autor relata, comparando esses métodos com os dados observados e os dados gerados pelos simuladores WGEN e SIMMETEO, os dados estimados pelos métodos citados anteriormente são os que menos se ajustaram aos dados observados, com exceção das falhas que foram preenchidas com dados de outra estação.

Além de considerar o princípio estatístico dos modelos, deve se considerar os requisitos básicos para a utilização dos modelos, principalmente quanto ao número de anos necessário para a geração de séries sintéticas.

Com a finalidade de avaliar a contribuição do tamanho das séries de dados observados na qualidade dos dados gerados, Soltani e Hoogenboom (2007) testaram o desempenho dos modelos WGEN e SIMMETEO, gerando dados para cinco localidades no Irã. As séries de dados observados utilizadas para as estimativas foram de 5, 10, 15, 20 e 30 anos, sendo que para cada um dos períodos foi gerada uma nova série de 30 anos. Através de testes estatísticos que comparam as diferenças entre as séries de 30 anos de dados gerados e as séries de 30 anos observadas, os autores afirmam que tanto na utilização do modelo WGEN, quanto ao SIMMETEO, as séries devem ter no mínimo 15 anos de dados para que os dados gerados tenham características semelhantes aos dados observados.

Pequenas séries de dados climáticos é uma situação bastante comum em postos e estações meteorológicas localizadas na região Amazônica, bem como na área de estudo. Nessas localidades, as séries normalmente apresentam entre 15 e 30 anos de dados diários, com exceção

de poucas localidades que apresentam mais de 30 anos de dados, sendo a principal variável meteorológica disponível a precipitação.

Além das curtas séries de dados, a região Amazônica tem uma carência na cobertura espacial de estações meteorológicas, como relata Duarte, Cunha e Lima (2006) para o estado do Acre. A cobertura espacial de estações meteorológicas e as condições dos dados de monitoramento climático no estado do Acre podem ser representativas de outros estados da Amazônia, onde as estações são instaladas próxima às margens dos rios, pois são locais de fácil acesso, o que não representa uma cobertura homogênea do Estado. Além disso, a localização das estações nas margens dos rios podem estar sofrendo a interferência de um fenômeno chamado brisa fluvial que reduz os totais pluviométricos, ou seja, na grande bacia pode estar chovendo mais do que os postos na margem dos rios estão medindo (MOLION; DALLAROSA, 1990).

Assim como no estado do Acre, o estado de Rondônia também apresenta um grande número de estações meteorológicas controladas por diferentes entidades, porém a maioria está inativa ou os dados não são disponibilizados. Isso afeta os bancos de dados locais e regionais, tanto em qualidade espacial quanto temporal, pela interrupção na coleta de dados.

Dentro desse contexto, a utilização de modelos geradores de dados nos estados da região Amazônica que apresentam poucas séries de dados dentro das exigências temporais da OMM, pode ser uma alternativa para estudos que necessitam de séries climáticas com pelo menos 30 anos de dados.

2.3 Função Densidade de Probabilidade Gama – FDPG

A distribuição gama pode ser aplicada em dados de precipitação em escala espacial e temporal, possibilitando a comparação da distribuição de probabilidade entre diferentes localidades ou entre diferentes intervalos de tempo.

Quanto à análise temporal, as séries de dados das localidades de Rondônia são inviáveis devido ao tamanho relativamente pequeno das séries de precipitação, que não permitem a divisão de uma mesma série em diferentes intervalos de tempo o que possibilitaria a comparação das probabilidades de precipitação em diferentes períodos e, conseqüentemente, possíveis variações temporais.

Estudos de ajustes de função de distribuição de probabilidade utilizando funções teóricas em relação a um conjunto de dados climáticos têm trazido benefícios no planejamento de atividades humanas que estão relacionadas aos mais diferentes setores da sociedade, como a economia, o ambiente e principalmente na agricultura.

A distribuição gama é um modelo estatístico de distribuição de probabilidade que tem sido amplamente utilizado em estudos de distribuição de precipitação, pois em geral, esse tipo de conjunto de dados não tem uma distribuição uniforme em torno do valor médio, mas sim de maneira irregular, sendo nesse caso, a distribuição gama a que melhor representa a distribuição de probabilidade da chuva.

Entre as dificuldades de utilização da distribuição gama está a estimativa dos parâmetros α e β , devido à complexidade e à extensão dos cálculos envolvidos. Sendo assim, vários métodos podem ser utilizados, como o método dos quadrados mínimos, o método dos momentos e o método de máxima verossimilhança. Porém, todos apresentam limitações, sejam por problemas matemáticos ou ineficiência nas estimativas. Entre esses, o método dos momentos e de máxima verossimilhança são os mais utilizados, sendo preferível este último pelas suas propriedades (BOTELHO; MORAIS, 1999). Hoje em dia tais dificuldades podem ser reduzidas pela utilização de programas estatísticos que facilitam o cálculo de tais parâmetros.

Para comparar as probabilidades empíricas e as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição, usa-se o teste de X^2 ou Kolmogorov-Smirnov, de forma a verificar se os valores da amostra podem ser considerados provenientes de uma população com aquela distribuição teórica. Normalmente o teste de Kolmogorov-Smirnov é mais eficiente que o teste de X^2 , pois pode ser realizado com dados agrupados em classes de frequência ou isolados, além de ser mais eficiente em pequenas amostras (CAMPOS, 1983).

Botelho e Morais (1999) utilizaram a distribuição gama para estudar dados diários de precipitação pluvial e agrupados em vários períodos da região de Lavras-MG, com a finalidade de obter informações probabilísticas para o planejamento racional de aproveitamento de água. Os resultados mostram que o parâmetro α , em escala diária foi maior nos meses menos chuvosos e menor nos meses chuvosos, o que indica um menor grau de assimetria nos meses mais chuvosos, tendo em vista que o parâmetro α é inversamente proporcional a assimetria. Conforme aumentou o tamanho dos períodos analisados, os valores de α foram menores nos meses mais secos e

maiores nos meses mais chuvosos, o que pode ser explicada pela pronunciada assimetria dos meses mais secos.

Quanto ao parâmetro β não foram verificadas variações devido o tamanho dos períodos analisados e os maiores valores ocorreram nos meses mais chuvosos. Essas diferenças nas estimativas dos parâmetros α e β podem ser devido à maior variabilidade dos dados quando estes são agrupados em períodos maiores.

Moraes et al. (2001) também avaliaram o ajuste da distribuição gama a dados de precipitação de Lavras, MG, agrupados em períodos mensais e de 6, 12, 18 e 24 dias para o planejamento de irrigação nos sistema agrícolas e verificaram que a distribuição gama se ajusta a períodos menores que mensais, sendo os seus resultados aplicáveis ao planejamento de irrigação.

Dourado Neto et al. (2005) testaram o ajuste de cinco funções de densidade de probabilidade (gama, exponencial, Weibull, normal e log-normal) aos dados diários de precipitação dos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, para Piracicaba, SP, com uma série climatológica de 1917 a 2002. Os resultados mostram que a distribuição gama pode ser utilizada em todos os meses estudados, a Weibull em fevereiro, março, novembro e dezembro, a exponencial em março e novembro, a log-normal em março e a distribuição normal não é recomendada no período estudado.

Longo et al. (2006) estudaram o ajuste da distribuição gama e log-normal em escala quinzenal para dados do estado do Paraná em um nível de 75% de probabilidade e verificaram que a distribuição gama tem ajuste melhor aos dados do que a distribuição log-normal. Os testes de aderência de χ^2 e Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância, mostraram que a distribuição log-normal não se ajusta principalmente nos períodos que apresentam baixos valores de precipitação.

Outro estudo comparando o ajuste da distribuição gama e a log-normal, também realizado no estado do Paraná, foi desenvolvido por Sampaio et al. (2006), porém em escala mensal, e confirma o melhor ajuste da distribuição gama aos dados de precipitação, conforme os resultados apresentados e discutidos por Longo et al. (2006).

Uma aplicação da distribuição gama pode ser observada no trabalho de Blain et al. (2007), no qual se estudaram uma série de precipitação de 116 anos de Campinas, SP e discutiram a utilização da média aritmética mensal de precipitação no cálculo do balanço hídrico que é utilizado para a caracterização climática de uma região e, também, nos zoneamentos

agroclimáticos. Os resultados mostram que os dados dessa localidade têm uma grande variabilidade entre os meses, o que dificulta o estabelecimento de uma quantidade pluviométrica provável. Neste caso, a mediana é a medida de posição estatística que melhor caracteriza as séries mensais de precipitação, sendo que o balanço hídrico gerado com essa medida está mais próximo da real dinâmica das condições de tempo, quando comparados aqueles gerados com a média ou a moda da chuva mensal.

Silva et al. (2007) analisaram a distribuição do número de dias e a altura diária de precipitação pluvial para determinar a variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária, nos meses do ano para o município de Santa Maria, e verificaram que no período de junho a agosto ocorre um número maior de dias com precipitação associada a uma atuação maior de frentes frias. Além disso, a probabilidade de ocorrer diferentes alturas diárias de precipitação é variável ao longo do ano, assim como o número de dias com chuva nos meses do ano.

2.4 Distribuição espacial da precipitação

O estudo climatológico de uma determinada região considerando mais de um ponto, distribuídos de forma espacial e temporal, pode ser realizado por meio de técnicas estatísticas adequadas. Entre as diversas técnicas utilizadas nas diferentes áreas de conhecimento, a que tem sido amplamente utilizada é a análise multivariada, a qual possibilita se obter grupos homogêneos das variáveis e investigar a sua distribuição espacial e temporal.

Conforme vasta revisão apresentada por Johnson e Wichern (2002) e Sartorio (2008), as principais técnicas de análise multivariada são: Análise de Componentes Principais (*Principal Components Analysis*) – ACP, Análise de Correspondência (*Correspondece Analysis*) – AC, Análise de Correlação Canônica (*Canonical Correlation Analysis*) – ACC, Análise de Variância Multivariada (*Multivariate Analysis of Variance*) – MANOVA, Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) – AA, Análise Fatorial (*Factor Analysis*) – AF, Análise discriminante (*Discriminant Analysis*) – AD.

A análise de agrupamento é bastante utilizada em estudos de climatologia onde o objetivo é separar ou agrupar regiões com características similares. Isso é possível por meio de medidas de

presença que podem ser: medidas de similaridade – quanto maior o valor, mais parecidas são as regiões, ou medidas de dissimilaridade – quanto maior o valor, mais diferentes são as localidades.

Assim como existem dois tipos de medidas de presença, existem vários métodos de agrupamento, sendo classificados em duas grandes famílias: hierárquicos e não-hierárquicos. Nos métodos hierárquicos, as regiões são classificadas em grupos, de modo ordenado (hierárquico) produzindo uma árvore de classificação chamada “dendrograma”. No método não-hierárquico, os grupos podem ser definidos antecipadamente ou determinados durante a execução dos procedimentos.

Estudos utilizando esses métodos vem sendo desenvolvidos há várias décadas devido a necessidades de conhecimento da distribuição espacial das variáveis meteorológica, através da qual é possível identificar regiões com características homogêneas, necessárias principalmente à agricultura.

Souza et al. (1992), analisaram dados mensais de precipitação de 60 localidades no estado de Alagoas, com as técnicas multivariadas Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento. Os resultados identificaram regiões em grupos com comportamento pluviométrico semelhante, sendo coerentes com as características óbvias existentes em cada região, ou seja, os locais menos chuvosos situam-se na região semi-árida do sertão e os locais intermediários situam-se na região do Agreste e algumas localidades da zona da Mata, enquanto que os locais mais chuvosos situam-se na região litorânea e zona da Mata.

Estudando o estado do Paraná com o objetivo de identificar os períodos mais chuvosos e mais secos em cada região, Nery, Vargas e Martins (1996) utilizaram as técnicas de análise multivariada e identificaram cinco grupos homogêneos que caracterizam a precipitação. Esses grupos apresentam características pluviométricas desde acentuadas no litoral paranaense até uma distribuição uniforme da precipitação ao longo do ano.

Nery et al. (1998) também utilizaram a análise multivariada para estudar os estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe quanto às características pluviométricas e correlacionaram esses resultados com os atributos físicos tais como: relevo, solo, comportamento hidrológico, distribuição das formações vegetais e as atividades sócio-econômicas. Os resultados mostram que na faixa litorânea em todos os três estados ocorrem os maiores índices de pluviosidade com gradativa diminuição no sentido leste-oeste.

Azevedo, Silva e Rodrigues (1998) analisaram dados diários de 84 estações no estado do Ceará por meio da análise multivariada. Os dados foram divididos em dois períodos dentro da estação chuvosa, o primeiro período corresponde a 1 de janeiro a 19 de março e o segundo de 20 de março a 30 de junho. As estações foram agrupadas, podendo-se dividir o estado do Ceará em sete microrregiões pluviométricamente homogêneas.

Além do Paraná, outro estado do Sul do Brasil que teve as séries de precipitação analisadas através de análise multivariada, foi o de Santa Catarina. Nesse estudo, o objetivo foi analisar a variabilidade anual e mensal da precipitação com dados de estações localizadas não somente em Santa Catarina, mas também no Paraná e Rio Grande do Sul. Os dados foram agrupados quanto à similaridade pela análise de agrupamento (*cluster*), e foram identificadas três regiões homogêneas em Santa Catarina: uma abrangendo a região sudeste; outra a leste, norte e centro; e outra envolvendo a região oeste do Estado. Quanto à distribuição da precipitação total anual em toda a área do estado verificou-se que ela aumenta de leste para oeste, com valores maiores na região centro-oeste e oeste do Estado (ANDRADE; BALDO; NERY, 1999).

Muitos são os trabalhos utilizando análise multivariada para identificação de regiões climáticas semelhantes, sendo que a região Sul é a que apresenta o maior número. Além dos trabalhos discutidos anteriormente, vale citar ainda Silva, Lermen e Nery (2001), que estudaram a variabilidade interanual da precipitação mensal e anual na bacia do rio Iguaçu, Paraná; Severo e Gan (2004), que tentaram caracterizar a circulação atmosférica durante a ocorrência de episódios extremos de precipitação em toda a região Sul do Brasil no período de 1979 a 2002; e, finalmente, Araújo (2005), que propôs identificar regiões homogêneas quanto a temperatura média trimestral do ar, utilizando dados de 40 estações meteorológicas distribuídas no estado do Rio Grande do Sul.

Um estudo mais abrangente utilizando análise multivariada foi desenvolvido por Keller Filho, Assad e Lima (2005) para todo o Brasil. O objetivo principal do trabalho foi identificar regiões homogêneas quanto à distribuição de probabilidades de chuva com a finalidade de contribuir para estudos de riscos climáticos na agricultura. Os dados utilizados na análise são de 2.341 postos distribuídos em todo o território brasileiro, sendo que as mais baixas densidades de postos pluviométricos ocorreram nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e na região Norte, com exceção do estado de Tocantins. Os resultados permitiram identificar seis grandes

grupos que foram considerados como regiões homogêneas. Esses grupos são localizados em áreas climáticas distintas, com regime de precipitação pluvial bastante diversificado.

A identificação de regiões homogêneas também foi realizada no estado de Táchira-Venezuela. Utilizando dados de precipitação mensal de 25 estações climatológicas Lyra et al. (2006), identificaram regiões homogêneas com base na sazonalidade da precipitação pluvial. A Análise de Agrupamento foi feita nos meses com precipitação pluvial similar e nas localidades com precipitação similar. Assim, foi possível identificar no estado de Táchira três períodos sazonais: seco, transição e úmido e em cada período foi identificado as regiões que apresentavam características homogêneas. Os períodos seco e úmido apresentaram quatro regiões homogêneas e o de transição apenas três.

Como pode ser observado, muitos são os trabalhos envolvendo análise multivariada, sendo que as regiões Sul e Nordeste são as que mais tem difundido conhecimento nessa área, tendo alguns trabalhos na região Sudeste. Isso chama a atenção para a carência de estudos dessa natureza para as regiões Centro Oeste e Norte, principalmente pela importância do conhecimento da distribuição espacial da precipitação para o planejamento agrícola, além da identificação de regiões homogêneas no sentido da preservação e utilização dos recursos hídricos.

2.5 Testes de tendência e sua aplicação em climatologia e hidrologia

Nos últimos tempos muitos estudos têm tentado identificar variações sistemáticas, tanto em dados de precipitação quanto de temperatura, que indiquem mudanças climáticas. Entre os testes estatísticos mais utilizados, encontra-se o de Mann-Kendall, que detecta a presença de tendência e se estas são positivas ou negativas, ou seja, aumento ou diminuição da precipitação e ou temperatura, além de identificar se elas são estatisticamente significativas ou não.

Gerstengarbe e Werner (1999) utilizaram o teste de Mann-Kendall para identificar o início e o fim da estação seca no nordeste do Brasil, com a finalidade de verificar mudanças recorrentes nessas datas que indicassem tendências de mudanças climáticas. Por meio de tal estudo, esses autores observaram uma diminuição de duas semanas no período seco numa série de 61 anos, 1921 a 1980.

Realizando estudos de tendência em outra escala, Back (2001) tentou identificar tendências anuais e mensais de aumento ou diminuição no regime de precipitação e temperatura no estado de Santa Catarina no período de 1924 a 1998. Pelo teste de Mann-Kendall foi verificado que a temperatura média anual e do mês de janeiro apresentaram tendências crescentes; quanto à precipitação, foi observada tendência de aumento do total anual e no último trimestre do ano. Esse autor acredita que a tendência de aumento da precipitação total anual é explicada pelos valores pluviométricos extremos registrados na década de 90, período esse em que ocorreram vários episódios de El-Niño. Isso reforça a idéia de que as mudanças na precipitação seja apenas uma oscilação de causa natural e não associada a uma mudança definitiva nos padrões pluviométricos, indicando a ocorrência de mudanças climáticas.

Estudos desenvolvidos na bacia do Rio Piracicaba por Pellegrino et al. (2001) e Groppo et al. (2005), mostram uma preocupação com a intensa atividade agrícola e o crescimento urbano, principalmente pela falta de tratamento do esgoto doméstico e industrial, e seus efeitos sobre a conservação dos recursos hídricos. Na tentativa de compreender o comportamento hidrológico e as interações com as atividades antrópicas, esses autores estudaram as variações na vazão e na precipitação na bacia do Rio Piracicaba utilizando o teste de Mann-Kendall.

Os resultados dos estudos identificaram tendência positiva da precipitação na bacia do Rio Piracicaba, porém é difícil relacionar essa tendência com causas de origem antrópica, já que a precipitação depende de fatores que não podem ser atribuídos somente a mudanças locais. Quanto à vazão dos rios que compõem a bacia do Rio Piracicaba, foi observado uma tendência negativa, principalmente nos rios Jaguari e Atibaia que estão sob influência do Sistema Cantareira da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que utiliza água desses rios para o abastecimento da região metropolitana de São Paulo (GROPPO et al., 2005).

Desconsiderando a presença do Sistema Cantareira, Pellegrino et al., (2001) não identificaram tendências negativas na vazão de nenhum dos rios da bacia, o que indica que a retirada de água dos rios da bacia do Rio Piracicaba para o abastecimento da grande São Paulo é a principal causa da tendência negativa identificada nos dados de vazão.

Marengo e Uvo (1996) relatam a importância de estudos de variabilidade de vazão nos rios, pois estão diretamente ligados ao gerenciamento das águas e ao uso dos recursos hídricos tanto em ambiente urbano quanto em atividades rurais e na geração de energia elétrica. Esses

mesmos autores afirmam que tendências negativas identificadas na bacia do Rio Paraíba do Sul e Rio São Francisco estariam ligadas principalmente ao gerenciamento de águas, do que a mudanças climáticas regionais decorrentes da ação antrópica.

Estudos dessa natureza, que tentam identificar tendências e mudanças climáticas em variáveis meteorológicas como temperatura, precipitação e vazão em rios na região Amazônica, tem como principal dificuldade a falta de dados de alta qualidade espacial e temporal.

A preocupação das mudanças climáticas existe também no âmbito da agricultura, onde pequenas variações de temperatura podem interferir no rendimento agrícola. Nesse sentido, Silveira e Gan (2006) estudaram a série de temperatura mínima diária de 1950 a 2005 da região Sul do Brasil com a finalidade de identificar mudanças significativas. Os resultados mostram que o teste de Mann-Kendall foi significativo estatisticamente apenas para o estado do Rio Grande do Sul, indicando uma tendência de aumento da temperatura mínima média e da temperatura mínima máxima nos últimos 55 anos.

Muitos estudos têm como objetivo identificar tendências ou mudanças climáticas, sejam da precipitação, temperatura ou vazão nas mais diferentes áreas de aplicação como: ambiental, onde se busca verificar o impacto das mudanças climáticas na dinâmica da fauna e da flora e suas inter-relações como um todo; agrícola, onde o objetivo principal é verificar seus efeitos sobre o rendimento e práticas culturais necessárias para as culturas agrícolas; hidrológico, onde os estudos se direcionam à dinâmica dos ciclos hidrológicos e da disponibilidade de água para as diferentes necessidades da vida terrestre; ou ainda meteorológica, onde os estudos de tendência têm como objetivo a descrição da ocorrência de eventos meteorológicos e a caracterização do clima. Para todos esses focos de estudos, a possibilidade de conclusões apoiadas em resultados concretos, exige dados com qualidades confiáveis e que sejam provenientes de longas séries de dados meteorológicos.

Esse é o principal desafio de muitas regiões brasileiras onde, apesar das limitações de informações meteorológicas, ainda se tenta discutir as mudanças climáticas no contexto das ações antrópicas sobre o meio ambiente ou das possibilidades de mudanças climáticas devido a causas naturais nas diferentes áreas de aplicação.

2.6 Balanço Hídrico

O balanço hídrico representa a contabilização da água no solo, resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em um solo vegetado, até a profundidade explorada pelas raízes, computando todos os fluxos hídricos positivos e negativos. Tais fluxos são decorrentes de trocas com a atmosfera e do próprio movimento superficial e subterrâneo da água (BERGAMASHI et al., 1999; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Segundo Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997), a variação do armazenamento num intervalo de tempo, representa o balanço entre a entrada e a saída de água no volume de controle. As possíveis entradas são: chuva, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral, ascensão capilar, irrigação; e as prováveis saídas são: evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral, drenagem profunda.

O volume de controle onde ocorre as entradas e saídas de água do sistema é determinado pelo conjunto solo-planta-atmosfera. Se o solo é profundo e a demanda atmosférica é alta, as raízes se aprofundam a procura de mais água para atender a demanda. Porém, se a demanda atmosférica for baixa, um volume menor de solo será suficiente para atendê-la (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O regime hídrico do solo de um local pode ser obtido por meio do balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955). Para isso, há a necessidade de se definir a capacidade de água disponível, a chuva total e a evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações, o balanço hídrico climatológico permite obter a evapotranspiração real, a deficiência ou excedente hídrico, e o total de água retirada do solo em cada período (PEREIRA, 2005).

Entre as variáveis de entrada do balanço hídrico climatológico, a mais difícil de se obter por meios práticos de medição é a evapotranspiração que é a principal saída de água de um sistema pelos processos simultâneos de transpiração das plantas e evaporação do solo. Assim, um número grande de equações foi desenvolvido para estimar a evapotranspiração e de acordo com os princípios envolvidos no seu desenvolvimento, os métodos de estimativa podem ser agrupados em cinco categorias: empíricos, aerodinâmico, balanço de energia, combinados e correlação dos turbilhões. Entre os diferentes métodos adaptados para as regiões onde foram desenvolvidos, os

métodos de Thornthwaite (1948), modificado por Camargo (1960), Camargo (1971), Penman (1956), Penman-Monteith (1965), são os mais empregados. Apesar da estimativa da evapotranspiração pelos métodos empíricos necessitar de valores mensais e a exatidão das estimativas serem limitadas pela dependência de poucas variáveis, muitos métodos desenvolvidos e calibrados localmente produzem melhores resultados do que aqueles mais genéricos e fisicamente mais reais (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

O que torna mais difícil ainda esta estimativa é a interferência de elementos meteorológicos que afetam a evapotranspiração como: radiação solar, temperatura e umidade do ar, e velocidade do vento (ALLEN et al., 1998). Para estimar a evapotranspiração potencial o ideal é que o método incorpore além dos fatores microclimáticos que interferem nos processos de transferência de massa e energia, a morfologia da planta, a taxa de crescimento da cobertura da superfície pela planta, estágio de crescimento, condições do solo e principalmente a forma com que as propriedades físicas do solo afetam a água disponível ao sistema radicular (SEDIYAMA, 1996).

De acordo com Camargo, A. e Camargo, M. (2000), em climas secos o modelo de Thornthwaite subestima bastante a evapotranspiração potencial por não considerar o poder evaporante do ar, enquanto que o modelo de Penman que considera em seu termo aerodinâmico esse poder, funciona bem em diferentes condições de umidade, porém necessita de todos os elementos meteorológicos em sua solução, que raramente estão disponíveis para as áreas de estudo. Entretanto, o modelo de Thornthwaite pode ser ajustado para melhor estimar a evapotranspiração potencial, por meio do emprego da temperatura média ajustada em função da amplitude térmica diária (CAMARGO et al., 1999).

2.7 Desmatamento no estado de Rondônia

Os dados de desmatamento do estado de Rondônia são monitorados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM. Esse órgão tem disponíveis dados de totais desmatados até 1996. Após 1996 os dados de desmatamento são detalhados a cada ano para os 52 municípios do Estado. Na Tabela 1 é apresentado os índices atuais de desmatamento em cada um dos municípios até o ano de 2007.

Pela dificuldade em estabelecer uma relação pontual entre o desmatamento e os índices de chuva presentes em cada um dos postos pluviométricos, os dados de desmatamento são utilizados apenas como base para a discussão das características pluviométricas encontradas em cada um dos postos, conforme a similaridade pluviométrica entre as localidades.

Tabela 1 – Área desmatada por município de Rondônia até o ano de 2007

Municípios	Área Mun. (Km²)	Área Desm.	% Desm	Municípios	Área Mun. (Km²)	Área Desm.	% Desm
Alta Floresta	7111,8	2096,4	29,5	Mirante da Serra	1253,7	589,6	47,0
Alto Alegre	3952,7	1121,2	28,4	Monte Negro	1413,4	1074,9	76,0
Alto Paraíso	2658,7	1460,1	54,9	Nova Brasilândia	1159,9	858,7	74,0
Alvorada	2982,2	1462,7	49,0	Nova Mamoré	10113,0	2302,7	22,8
Ariquemes	4995,3	2874,9	57,6	Nova União	804,1	636,9	79,2
Buritis	3286,6	1829,2	55,7	Novo Horizonte	833,5	673,3	80,8
Cabixi	1530,7	867,2	56,7	Ouro Preto do	1978,2	1684,0	85,1
Cacaulândia	2010,4	1299,6	64,6	Parecis	2558,6	1063,6	41,6
Cacoal	3808,4	2242,6	58,9	Pimenta Bueno	6258,0	2441,8	39,0
Campo Novo	3455,9	1620,6	46,9	Pimenteiras do	6128,9	1233,4	20,1
Candeias do	6867,6	1840,6	26,8	Porto Velho	34209,5	6246,4	18,3
Castanheiras	901,2	642,3	71,3	Presidente Médici	1693,4	1516,9	89,6
Cerejeiras	2645,0	789,5	29,8	Primavera de	615,4	458,9	74,6
Chupinguaia	5150,7	2404,8	46,7	Rio Crespo	1729,9	941,9	54,4
Colorado do	1442,4	1208,4	83,8	Rolim de Moura	1478,3	1250,0	84,0
Corumbiara	3079,7	2016,5	65,5	Santa Luzia	1187,7	865,0	72,8
Costa Marques	5140,6	1306,3	25,4	São Felipe	546,5	486,2	89,0
Cujubim	4034,9	1142,5	28,3	São Francisco do	10961,0	2109,2	19,2
Espigão	4523,8	1983,1	43,8	São Miguel do	7814,9	2052,1	26,3
Governador	5091,6	1205,2	23,7	Seringueiras	3660,6	1110,8	30,3
Guajará-Mirim	25214,0	1078,7	4,3	Teixeirópolis	455,8	401,3	88,0
Itapuã do	3938,0	851,4	21,6	Theobroma	2199,0	1540,5	70,1
Jaru	2909,6	2381,9	81,9	Urupá	849,7	690,2	81,2
Ji-Paraná	6922,5	2312,5	33,4	Vale do Anari	3136,3	1058,9	33,8
Machadinho	8556,1	2429,8	28,4	Vale do Paraíso	967,2	789,5	81,6
Ministro	875,3	623,7	71,3	Vilhena	11411,2	1400,9	12,3

Fonte: SEDAM, 2008.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo está inserida na Amazônia Ocidental e corresponde ao estado de Rondônia, localizado na Região Norte entre os paralelos 7°58' e 13°43' de latitude sul e os meridianos 59°50' e 66°48' de longitude oeste de Greenwich. Apresenta uma área de 238.512,80 Km², limitado ao norte pelo estado do Amazonas, a noroeste pelo estado do Acre, a oeste pela República da Bolívia e a leste e sul pelo estado do Mato Grosso.

Na data de sua criação, 22 de dezembro de 1981, o Estado de Rondônia estava constituído por 13 municípios: Porto Velho, a capital, Guajará-Mirim, Ariquemes, Jarú, Ouro Preto d'Oeste, Ji-Paraná, Presidente Médici, Cacoal, Espigão d'Oeste, Pimenta Bueno, Vilhena, Colorado d'Oeste e Costa Marques. Hoje o estado tem 52 municípios e 57 distritos (FERNANDES; PEDROSO, 2003).

A localização do estado de Rondônia não sofre influência de maritimidade e da altitude. Segundo a classificação de Koeppen o clima do estado é do tipo Aw – clima tropical chuvoso, com média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio, superior a 18°C (megatérmico) e um período seco bem definido durante a estação de inverno. A média anual da precipitação pluvial varia entre 1.400 a 2.500 mm, e a média anual da temperatura do ar está entre 24 e 26°C. Com relação à temperatura média do ar, o Estado apresenta uma certa homogeneidade espacial e sazonal, o que não acontece com a precipitação pluviométrica, que apresenta uma variabilidade sazonal e, em menor escala, espacial ocasionada pelos fenômenos atmosféricos que atuam no ciclo anual da precipitação.

A média anual da umidade relativa do ar varia de 80% a 90% no verão e em torno de 75% no outono-inverno. A evapotranspiração potencial é alta durante todo o ano, apresentando valores superiores a 100 mm.mês⁻¹. A evapotranspiração potencial só é superior à precipitação nos meses de maio, junho, julho e agosto. A estação chuvosa corresponde aos meses de outubro a abril e a estação seca de maio a setembro.

Os principais rios, tanto em extensão como em volume de água, que compõem a hidrologia do estado de Rondônia são: rio Madeira, rio Machado (rio Ji-Paraná), rio Mamoré, rio

Guaporé e rio Jamari. A vegetação apresenta uma grande biodiversidade pela localização em uma região de transição entre o Brasil Central e o domínio geomorfológico Amazônico, sendo uma área que agrega principalmente os biomas: Floresta Amazônica e Cerrado.

O uso do solo no estado de Rondônia pode ser agrupado em três categorias: vegetação nativa (floresta e cerrado); áreas de serviço (cidades e vilas) e áreas produtivas (demais classes). Do total de área desmatada, a pecuária ocupa 84%. As áreas ocupadas com a agricultura são cultivadas principalmente pelas seguintes culturas: algodão, arroz, feijão, mandioca, milho, soja, banana, café e cacau.

Entre as atividades econômicas do estado destacam-se: agricultura, pecuária, apicultura, extrativismo vegetal (cacau, madeira em toras, castanha-do-pará e borracha) e mineral (ouro, cassiterita, diamante, nióbio, quartzo, granito e água mineral) (FERNANDES; PEDROSO, 2003; PORTAL AMAZÔNIA, 2008).

3.2 Dados meteorológicos

Foram utilizados os dados pluviométricos disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb, da Agência Nacional de Águas – ANA, que são coletados em postos pluviométricos e representam séries mais longas de dados de precipitação. Mesmo assim, poucas estações apresentam 30 anos de dados, como recomenda a Organização Mundial de Meteorologia – OMM para estudos climáticos. Apesar disso, deve-se utilizar as séries de dados existentes, considerando as limitações impostas pela falta de séries dentro das exigências da OMM bem como as falhas na continuidade dos dados disponíveis. Os dados foram organizados em totais mensais de precipitação de acordo com a quantidade de anos de cada uma das séries (Tabela 2).

As localidades de Ouro Preto d’ Oeste e Porto Velho foram as únicas do Estado onde foi possível se obter séries de dados com mais de 25 anos, que dispunham de temperatura máxima e mínima (C°), velocidade do vento (m/s) e umidade relativa (%). Tais séries foram cedidas pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – CEPLAC de Ouro Preto d’Oeste e Pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, respectivamente.

Apesar de um grande número de postos pluviométricos relativamente bem distribuídos em toda a área do estado de Rondônia, após um estudo prévio para o levantamento dos postos que

seriam utilizados no estudo, muitos deles necessitaram ser retirados, pois estavam inativos há muitos anos e não apresentavam ao menos 10 anos de dados. Além disso, alguns postos, apesar de estarem ativos por mais de 20 anos, apresentavam falhas extensas, tornando inviável a sua utilização. Sendo assim, no presente estudo foram utilizados 27 postos controlados pela ANA e duas estações, uma do INMET em Porto Velho e outra da CEPLAC em Ouro Preto d'Oeste (Figura 1).

Tabela 2 – Localização dos postos pluviométricos e período de cada uma das séries de precipitação do estado de Rondônia

Cód. ANA	Nome da Estação	Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (m)	Período da Série
00862000	Tabajara (Machadinho d'Oeste)	-8.56	-63.314	99	1977-2006
00863003	Cachoeira do Samuel (Itapuã d'Oeste)	-8.4535	-63.2745	100	1975-2002
00962000	Min. Onte Novo (Machadinho d'Oeste)	-9.3511	-62.2338	283	1978-2006
00962001	Mineração Jacundá (Itapuã d'Oeste)	-9.1045	-62.5711	99	1981-2006
00963000	Ariquemes	-9.5554	-63.325	142	1975-2006
00963001	Santo Antônio BR 364 (Itapuã d'Oeste)	-9.1538	-63.943	117	1977-2006
00963004	Fazenda Rio Branco (Ariquemes)	-9.5314	-62.5916	104	1980-2005
00965001	Abunã (Porto Velho)	-9.4211	-65.2153	100	1976-2006
00966000	Nova Califórnia (Porto Velho)	-9.4520	-66.3642	163	1977-2006
00966001	Pedreiras (Porto Velho)	-9.4125	-65.5935	143	1982-2005
01062001	Jarú	-10.2645	-62.2756	144	1977-2006
01062002	Seringal 70 (Jarú)	-10.1411	-62.3738	214	1978-2006
01062003	Mirante da Serra	-11.013	-62.3922	233	1983-2006
01063000	Escola Caramurú (Campo Novo)	-10.3018	-63.3846	180	1978-2006
01063001	Min. Ponte Massangana (Monte Negro)	-10.210	-63.250	228	1980-2006
01065002	Guajará-Mirim	-10.4733	-65.2052	128	1972-2006
01160000	Marco Rondon (Pimenta Bueno)	-12.055	-60.5118	335	1977-2006
01160002	Fazenda F. Campo (Espigão d'Oeste)	-11.4456	-60.524	211	1983-2006
01161000	Vista Alegre (Rolim de Moura)	-11.2627	-61.292	179	1977-2006
01161001	Pimenta Bueno	-11.411	-61.1132	174	1980-2006
01161002	Rolim de Moura	-11.4459	-61.4635	223	1983-2006
01261000	Fazenda Expansão (Chupinguaia)	-12.2916	-61.247	448	1983-2006
01262000	Pedras Negras (Costa Marques)	-12.515	-62.5357	156	1980-2006
01264000	Príncipe da Beira (Costa Marques)	-12.2537	-64.2521	149	1983-2006
01360000	Colorado d'Oeste	-13.0651	-60.3254	460	1983-2006
01360001	Cerejeira	-13.1148	-60.4924	277	1983-2006
01360002	Pimenteiras	-13.2847	-61.247	173	1983-2006
CEPLAC	Ouro Preto d'Oeste	-10.4452	-62.1256	280	1982-2007
INMET	Porto Velho	-8.46	-63.55	95	1961-2007

Figura 1 – Distribuição dos postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas – ANA, no estado de Rondônia

Em seguida efetuou-se o estudo da continuidade temporal das séries de dados, sendo observadas falhas em todas elas. Em algumas, essas falhas eram de apenas um dia, porém em outras eram de meses ou anos. A série com falha mais extensa foi a de Porto Velho, que apresentou, além de falhas menores em alguns anos, uma falha extensa que abrange o período de 1984 a 1997, correspondendo a um período de 14 anos sem dados.

As falhas em cada série foram analisadas na escala anual, como mostra a Tabela 3. As séries que apresentaram pelo menos um dia com falha foram classificadas como uma série descontínua (*) e as que não apresentaram falhas foram classificadas como contínuas (c).

Tabela 3 – Continuidade temporal das séries de dados meteorológicos das localidades de Rondônia. (*) Anos com falhas; (c) Anos contínuos

Localidades	Década 1960									Década 1970									Década 1980									Década 1990									Década 2000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Abunã																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

3.3 Preenchimento de falhas e análise de consistência

3.3.1 Gerador de dados climáticos – CLIMGEN

Muitos são os métodos disponíveis para o preenchimento de falhas em séries de dados meteorológicos conforme já discutido, porém, pela distância entre os postos pluviométricos na área do estado de Rondônia, alguns métodos se tornaram inviáveis, como o de ponderação regional, muito difundido em preenchimento de falhas em estudos meteorológicos. Esse método utiliza dados de três localidades próximas para estimar os dados faltantes da estação através de ponderação. Porém, nesse estudo este método não é viável pela grande distância entre as estações, que em alguns pontos passa de 100 Km, estando localizados, possivelmente, em regiões climatologicamente diferentes do posto estudado. Isso torna os dados das estações próximas não representativos das condições de tempo presentes na estação onde se está preenchendo as falhas. Diante dessa limitação, recorreu-se aos geradores de dados climáticos, os quais simulam os dados faltantes em função de parâmetros estatísticos da série disponível.

Para o preenchimento das falhas nas séries de dados meteorológicos do estado de Rondônia, foi utilizado o gerador de dados “Climatic Data Generation” - CLIMGEN (NELSON, 2002), o qual estima os valores de precipitação de acordo com as probabilidades da Cadeia de Markov, considerando-se as seguintes combinações de sequência de dias: dia seco sendo que o anterior foi seco; dia seco dado que o anterior foi chuvoso; dia chuvoso dado que o anterior foi seco; e dia chuvoso tendo o anterior sido chuvoso.

O programa tem como requisito mínimo, uma série de dados diários reais de pelo menos 25 anos para gerar séries de precipitação. Para a geração de dados de temperatura, são necessários pelo menos 10 anos de dados e para as variáveis como radiação solar e velocidade do vento são necessário 2 anos de dados. Os detalhes das exigências do programa podem ser encontrados em Nelson (2002).

Apesar de algumas séries meteorológicas do estado de Rondônia não disporem de 25 anos de dados, foi feita uma tentativa em utilizá-las com a finalidade de avaliar a capacidade de geração do programa CLIMGEN mesmo para séries de precipitação menores que 25 anos.

O ajuste entre as séries de dados gerados pelo CLIMGEN e as séries corrigidas, ou seja, aquelas que tiveram apenas as falhas preenchidas pelo programa, foi feito através do teste F e teste t a um nível de significância de 5%. Além desses testes, foi utilizada análise de regressão entre os dados gerados e corrigidos.

3.3.2 Método de Duplas Massas

Após o preenchimento de falhas meteorológicas foi necessária a análise do grau de consistência dos dados disponíveis de cada posto em relação aos demais distribuídos no estado de Rondônia. Essa análise foi feita em escala mensal pelo método de “Duplas Massas” que pode ser empregado considerando apenas um posto de referência que apresente uma série longa com dados contínuos ou a média de vários postos. Como a primeira condição não foi encontrada nos postos localizados em Rondônia, preferiu-se utilizar a média de todos os postos como referência para a análise de consistência.

Por meio deste método, foi selecionado cada um dos postos e acumulados os valores mensais. Em seguida foi plotado em um gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (eixo das ordenadas) com os valores médios das precipitações acumuladas nos demais postos (eixo das abscissas), com exceção do posto a consistir, que serviu como base para comparação.

Quando os valores dos postos a consistir foram proporcionais às médias dos postos considerados como referência, os pontos se alinharam em uma única reta. Quando isso não viesse a ocorrer, a declividade da reta determinou o fator de proporcionalidade entre ambas as séries, o que pode ser ocasionado por erros nas medidas (OMETTO, 1981).

A inconsistência entre os dados do posto analisado e a média da região, foi verificada pelos valores de R^2 , o índice de concordância d de Willmott (1981) e o índice de confiança “c” de Camargo e Sentelhas (1997).

A análise de “Duplas Massas” foi feita em todos os 29 postos estudados do estado de Rondônia, o que possibilitou uma revisão dos valores previamente preenchidos pelo CLIMGEN, indicando as localidades que tiveram melhor consistência nos dados gerados pelo programa.

3.4 Função Densidade de Probabilidade Gama - FDPG

Os dados de precipitação mensal foram ajustados à distribuição gama empregando-se a Função Densidade de Probabilidade Gama (FDPG):

$$g(x) = \frac{1 * x^{\alpha-1} * e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad \text{para } x > 0 \quad (1)$$

em que:

$\alpha > 0$ é o parâmetro de forma da distribuição gama;

$\beta > 0$ é o parâmetro de escala da distribuição gama;

x é o total de precipitação no tempo de análise;

$\Gamma(\alpha)$ é a função gama.

Os parâmetros α e β foram calculados pelo método da máxima verossimilhança conforme proposto por Thom (1996) e descrito nas equações 2 e 3.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + 4A/3} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \bar{X} / \alpha$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \sum (\ln(x)) / n \quad (3)$$

Como a função gama é indefinida para $x = 0$ e a distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa de um dado valor de chuva torna-se:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (4)$$

$$q = (m / n)$$

em que:

q é a probabilidade de ocorrência de precipitação zero;

m é o número de observações com chuva igual a zero;

n é o número de observações com chuva maior que zero.

O ajuste dos dados de precipitação à função densidade de probabilidade gama permite obter curvas com diversas formas de acordo com a variação de α , que é inversamente proporcional à assimetria dos dados. Ou seja, quanto maior a assimetria, menor os valores de α .

O aumento dos valores do parâmetro β fazem com que a função densidade de probabilidade gama se alongue para a direita, com redução da altura e diminuição da probabilidade de ocorrência do valor representado pela moda. Para verificar o grau de ajuste da série de precipitação das localidades estudadas a função densidade de distribuição gama, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov.

As probabilidades de ocorrências dos valores mensais próximos à média e à mediana obtidas pela distribuição gama, foram interpolados pelo método do inverso do quadrado da distância e espacializados através do software ArcGis 9.2 (ESRI, 2007). Sendo assim, foi possível identificar as regiões que tiveram maiores probabilidades de apresentar determinado valor de precipitação em cada mês, possibilitando a identificação de regiões no Estado com características de probabilidade de precipitação semelhantes.

As classes de precipitação foram determinadas de acordo com a média e a mediana do valor de chuva mensal que ocorre em todo o Estado, segundo os dados das 27 estações consideradas no estudo. Para o mês de janeiro foi adotada uma classe de chuva de 320 mm; fevereiro e março 300 mm; abril 180 mm; maio 90 mm; junho 20 mm; julho 10 mm; agosto 30 mm; setembro 105 mm; outubro 165 mm; novembro 220 mm e dezembro 300.

3.5 Análise Multivariada

A análise espacial dos dados de precipitação de todos os postos foi feita utilizando-se dois métodos estatísticos multivariados: análise de agrupamento pelo método de agrupamento da média, Agrupamento Pareado não ponderado Baseado na Média Aritmética – UPGMA, e análise de componentes principais.

O agrupamento pelo método da ligação média trata as distâncias entre os dois grupos como a média das distâncias de todos os pares de itens onde cada membro de um par pertence a um grupo diferente.

O processo inicia procurando-se na matriz a distância $D = \{d_{ik}\}$ dos objetos mais próximos, por exemplo, os objetos X e Z , que são juntados num grupo chamado (XZ) . Em seguida é calculada a distância entre o grupo (XZ) e um outro grupo Y da seguinte forma:

$$d_{(XZ)Y} = \frac{\sum_i \sum_k d_{ik}}{n_{(XZ)}n_Y} \quad (5)$$

sendo:

d_{ik} é a distância entre o objeto i no grupo (XZ) e o objeto k no grupo Y ;

$n_{(XZ)}$ e n_Y são os números de objetos nos grupos (XZ) e Y , respectivamente.

Por meio da análise de agrupamento identificaram-se os grupos similares que foram apresentados na forma gráfica de dendrograma. A análise de componentes principais foi utilizada por ser uma técnica de análise multivariada que tem por finalidade reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis e facilitar a interpretação da interdependência entre elas e descobrir alguma relação entre as observações. O conjunto original dos dados pode ser reduzido para um conjunto de n medidas feitas em m componentes principais, que neste caso, podem substituir as p variáveis originais.

Os resultados da análise de componentes principais foram submetidos à análise explanatória de gráfico “*Biplot*” (GABRIEL, 1971). O modelo mais conhecido de “*Biplot*” baseia-se na decomposição em valores e vetores singulares de uma matriz de observações formada por números reais. Segundo GABRIEL (1971), toda a matriz de posto 2 pode ser representada graficamente por um “*Biplot*” que consiste num vetor para cada linha e num vetor para cada coluna, escolhidos de modo que cada elemento da matriz seja exatamente o produto interno desses dois vetores. Se a matriz de dados tem posto superior a dois, essa matriz pode ser representada, de modo aproximado, por um “*Biplot*” de uma matriz de posto 2.

Conforme descrito em Vairinhos e Galindo (2004), a matriz de dados $\mathbf{X}$ ($n \times p$) que representa dois tipos de marcadores, o dos indivíduos (a_i , $i=1, \dots, n$) e o das variáveis (b_j , $j=1, \dots, p$), pode ser decomposta da seguinte forma:

$$X = [x_{ij}] = [a_i^T b_j] = [\angle a_i, b_j] = [|a_i| |b_j| \cos \theta_{ij}] \quad (6)$$

No caso de $r = \text{posto}(X) = \min(n, p) > 3$, os biplots são sempre aproximações dos dados. Quando $r = 2$ ou 3 , podem construir-se biplots (de 2 ou 3 dimensões) que representem exatamente os dados.

A decomposição de X em valores e vetores próprios como técnica para obter os marcadores das linhas/indivíduos e das colunas/variáveis pode ser utilizada:

$$\begin{aligned} X &= (U \Sigma^\alpha)(V \Sigma^{1-\alpha})^T = AB^T \quad \text{com,} \\ A &= U \Sigma^\alpha \\ B &= V \Sigma^{1-\alpha} \end{aligned} \quad (7)$$

sendo α um parâmetro que varia de modo contínuo no intervalo $[0 \text{ e } 1]$.

Os gráficos de “*Biplot*” podem ser interpretados pelos cossenos dos ângulos entre os vetores representativos das variáveis, que representam os coeficientes de correlação entre as respectivas variáveis. As proximidades entre os marcadores dos indivíduos representam semelhanças entre os indivíduos: dois pontos próximos correspondem a dois indivíduos com respostas semelhantes; dois pontos afastados correspondem a dois indivíduos com respostas tanto mais díspares quanto maior o afastamento dos respectivos marcadores.

3.6 Teste de Tendência Mann Kendall

Na tentativa de detectar tendências ou variabilidade climática nas séries de precipitação e temperatura e nas variáveis do balanço hídrico (evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico) foi utilizado o teste de Mann-Kendall proposto por Sneyers (1975), que tem sido utilizado em diversos trabalhos na área de mudanças climáticas (BACK, 2001; FOLHES; FISCH, 2006; MARENGO; UVO, 1996; PELLEGRINO, et al., 2001).

Tal teste considera que na hipótese de estabilidade (H_0) de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma.

Conforme descrito em Back (2001), o teste considera uma série temporal de X_i de N termos ($1 \leq i \leq N$) e consiste na soma t_n do número de termos m_i da série, relativo ao valor X_i cujos termos procedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($X_j < X_i$), isto é:

$$t_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad (8)$$

Sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal com média e variância dadas respectivamente por:

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (9)$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (10)$$

Como passo seguinte é calculada a estatística $u(t)$ dada pela fórmula:

$$u(t) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \quad (11)$$

A hipótese nula é rejeitada, ou não, considerando em geral um nível de significância de 5%. Sendo detectada uma tendência significativa na série temporal, superior a 1,96 tanto no extremo positivo quanto negativo, a hipótese nula é rejeitada.

O ponto de início da mudança pode ser determinado aplicando-se o mesmo princípio à série inversa. Neste caso, computa-se para cada termo o número de termos m'_i da série X_j , de maneira tal que para $X_i > X_j$ com $i < j$ os valores de $u^*(t)$ para a série retrógrada sejam dados por:

$$u^*(d_i) = -u(d_i) \quad (12)$$

O ponto onde as estatísticas $u(t)$ e $u^*(t)$ interceptam-se indica o ano onde está iniciando a tendência. Para que essa tendência seja significativa, o ponto de intercepto das estatísticas $u(t)$ e $u^*(t)$ devem estar dentro dos valores críticos do intervalo de confiança, ou seja, 1,96. O sinal da estatística $u(t)$ indica se a tendência é crescente ($u(t) > 0$) ou decrescente ($u(t) < 0$), ou seja, se o regime pluviométrico mensal pode estar aumentando ou diminuindo.

3.7 Método de balanço hídrico climatológico

Devido à falta de dados de temperatura na maioria das localidades, o balanço hídrico normal e o sequencial foram aplicados apenas nos municípios de Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste, onde as séries meteorológicas dispõem desses dados necessários para os cálculos do balanço.

O balanço hídrico climatológico foi determinado por meio do modelo de Thornthwaite e Mather (1955). O roteiro de cálculos desse método foi difundido no Brasil por Camargo (1962), e constitui-se em uma planilha com doze colunas de cálculo com as seguintes variáveis: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração real (ET), correção da evapotranspiração real (Cor), evapotranspiração potencial (ETP), precipitação (P), diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial (P-ETP), negativo acumulado (NEG. ACUM.), armazenamento de água no solo (ARM), alteração no armazenamento (ALT), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), e o excedente hídrico (EXC) (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; VIANELLO; ALVES, 2000). Esses cálculos foram desenvolvidos com o uso de programas de computador que possibilitam a sua rápida elaboração em planilhas no Excel (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998).

Como a vegetação considerada no estudo corresponde a árvores de grande porte, e outras culturas como pastagens e lavouras agrícolas considerou-se três valores de capacidade de água disponível (CAD), 75 mm, 100 mm e 150 mm, na determinação dos balanços hídrico climatológico normal e sequencial.

No balanço hídrico normal foram utilizados dados médios decendiais de evapotranspiração potencial, obtidos pelo método de Thornthwaite (1948) e de precipitação. O balanço hídrico calculado com valores normais serve principalmente como um indicador climatológico da disponibilidade hídrica da região, caracterizando um período como seco ou úmido, porém não identifica a variação no regime ocorrido em cada ano.

Para que fosse feito o acompanhamento da disponibilidade hídrica regional a cada ano estudado também foram utilizados os cálculos de balanço hídrico sequencial, desenvolvidos da mesma forma que o balanço hídrico normal com CADs de 75 mm, 100 mm e 150 mm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Preenchimento de falhas – CLIMGEN

As séries de dados gerados pelo programa CLIMGEN foram comparadas com as séries de dados reais da Agência Nacional de Águas – ANA, que tiveram apenas as falhas preenchidas. Dessa forma, foi possível comparar a eficiência do método tanto em gerar uma série sintética completa para cada uma das localidades, bem como, somente no preenchimento de falhas.

A eficiência do programa CLIMGEN também foi avaliada quanto à capacidade em gerar séries sintéticas de dados, mesmo para localidades onde não havia os 25 anos de dados mínimos para a geração das novas séries, como recomenda o programa. Muitas das localidades de Rondônia dispõem de apenas 15 ou 20 anos de dados de precipitação e mesmo nessa condição, o programa foi eficiente na geração de dados (Tabela 4).

Para comparar o desempenho do programa e a similaridade entre as séries geradas e as séries corrigidas, foi utilizado o Teste F para verificar a homogeneidade da variância e o Teste t , para definir a significância estatística do ajuste entre as séries geradas e as séries corrigidas. Tais testes foram utilizados a um nível de significância de 5% para comparar as médias e as variâncias entre os valores gerados e os valores reais, que tiveram apenas as falhas preenchidas para cada um dos meses de cada localidade do estado de Rondônia.

Os testes foram calculados e comparados com os valores tabelados, que são considerados os valores críticos. No Teste t para todas as localidades, os valores críticos a um nível de significância de 5% ficaram entre 2,00 e 2,04 tanto para valores positivos quanto negativos. Assim, os valores da estatística t nos meses analisados que tiveram valores, tanto nos extremos positivos quanto negativos, iguais ou maiores aos valores tabelados, foram considerados como sendo diferentes, ou seja, a H_0 de que as médias mensais das localidades que tiveram os dados gerados e preenchidos eram iguais foi descartada.

Tabela 4 – Comparação entre as séries geradas e corrigidas pelo CLIMGEN

(continua)

Localidade		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Total
Abunã	Ger	256	204	210	156	85	37	12	30	60	155	177	227	1610
	Obs	288	213	220	172	81	36	13	34	72	160	179	241	1709
	Test	1,0	0,4	0,4	0,8	-0,4	-0,2	0,5	0,6	1,1	0,3	0,1	0,5	
Ariquemes	Ger	326	326	264	203	112	16	7	29	101	155	251	300	2091
	Obs	307	320	290	194	108	19	9	29	104	173	244	283	2079
	Test	-0,9	-0,3	1,1	-0,4	-0,3	0,4	0,7	0,0	0,2	0,9	-0,3	-0,7	
Cachoeira de Samuel	Ger	415	355	458	292	167	56	21	27	133	180	264	386	2754
	Obs	414	369	448	282	168	54	23	31	126	190	282	371	2760
	Test	0,0	0,5	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	0,3	0,7	-0,5	0,5	0,8	-0,6	
Cerejeiras	Ger	295	259	236	137	57	31	17	23	75	153	184	263	1728
	Obs	296	268	253	143	59	20	12	20	75	142	196	281	1767
	Test	0,1	0,3	0,6	0,4	0,1	-1,2	-0,8	-0,6	0,1	-0,5	0,5	0,6	
Colorado d'Oeste	Ger	295	280	270	161	87	19	12	23	109	199	258	285	1998
	Obs	309	268	261	170	88	21	12	33	103	183	226	289	1964
	Test	0,6	-0,5	-0,4	0,5	0,1	0,2	-0,1	1,0	-0,3	-0,6	-1,3	0,1	
Escola Caramuru	Ger	337	327	301	236	89	31	25	41	100	161	230	365	2244
	Obs	336	330	298	218	90	36	19	50	122	154	238	335	2227
	Test	0,0	0,1	-0,1	-0,7	0,0	0,4	-0,7	1,0	1,5	-0,5	0,3	-0,9	
Faz. Expansão	Ger	315	295	253	130	61	13	5	22	61	165	168	180	1669
	Obs	283	306	225	138	72	11	6	20	55	166	151	192	1625
	Test	-1,1	0,4	-1,3	0,4	0,9	-0,4	0,4	-0,3	-0,5	0,0	-1,0	0,6	
Faz. Flor do Campo	Ger	305	302	275	152	70	15	25	38	75	163	198	295	1912
	Obs	318	311	287	154	72	22	20	33	86	157	202	296	1957
	Test	0,5	0,4	0,5	0,1	0,1	1,0	-0,4	-0,5	0,7	-0,4	0,2	0,1	
Fazenda Rio Banco	Ger	372	284	333	199	109	16	7	18	97	190	279	317	2219
	Obs	378	312	327	184	92	15	9	25	98	207	258	323	2227
	Test	0,2	1,2	-0,2	-0,7	-1,0	-0,2	0,5	1,1	0,1	0,8	-0,9	0,2	
Guajará Mirim	Ger	269	247	256	172	79	30	37	38	81	141	184	237	1771
	Obs	274	242	252	176	104	33	32	35	83	131	185	218	1765
	Test	0,2	-0,3	-0,1	0,2	2,0	0,4	-0,6	-0,4	0,2	-0,7	0,0	-0,8	
Jarú	Ger	279	280	300	158	70	16	14	51	76	145	194	303	1886
	Obs	307	294	309	182	79	12	11	29	84	166	204	292	1970
	Test	1,4	0,6	0,3	1,4	1,0	-0,9	-0,5	-2,3	0,6	1,0	0,6	-0,6	
Marco Rondon	Ger	294	284	316	154	62	12	4	17	79	160	202	275	1860
	Obs	321	281	311	169	63	17	10	24	78	153	209	291	1928
	Test	0,9	-0,1	-0,2	1,0	0,1	0,7	2,0	1,0	-0,1	-0,5	0,3	0,6	
Min. Jacundá	Ger	420	359	409	281	149	46	27	26	122	159	262	301	2562
	Obs	436	342	405	269	130	39	20	30	109	201	251	358	2591
	Test	0,5	-0,6	-0,1	-0,4	-0,9	-0,6	-0,7	0,5	-0,7	1,6	-0,3	1,6	
Min. Oriente Novo	Ger	320	357	343	210	118	16	12	26	149	186	278	343	2358
	Obs	329	320	339	214	108	23	12	33	120	198	258	335	2290
	Test	0,4	-1,6	-0,1	0,2	-0,6	1,2	0,0	0,9	-1,2	0,6	-0,8	-0,3	
Massangana	Ger	394	303	347	183	93	32	21	40	154	198	219	321	2305
	Obs	379	276	283	182	108	30	18	37	120	203	218	320	2175
	Test	-0,4	-1,1	-2,2	-0,1	0,9	-0,2	-0,7	-0,2	-1,3	0,2	0,0	0,0	

Tabela 4 – Comparação entre as séries geradas e corrigidas pelo CLIMGEN

(conclusão)														
Localidade		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	Total
Mirante da Serra	Ger	260	285	253	164	64	21	15	31	69	132	180	192	1665
	Obs	276	267	253	169	79	18	18	40	82	141	167	190	1699
	Test	0,6	-0,8	0,0	0,3	1,0	-0,6	0,4	0,8	1,1	0,5	-0,7	-0,1	
Nova Califórnia	Ger	292	279	249	201	100	33	18	41	123	154	216	241	1947
	Obs	292	288	272	205	94	31	19	37	111	161	238	232	1979
	Test	0,0	0,3	1,2	0,2	-0,4	-0,2	0,3	-0,4	-0,7	0,3	0,9	-0,4	
Pedras Negras	Ger	245	269	232	129	51	30	7	16	68	143	212	278	1680
	Obs	266	262	233	137	55	24	11	21	80	147	211	270	1717
	Test	0,6	-0,3	0,1	0,3	0,4	-0,4	1,1	0,7	0,8	0,2	-0,1	-0,3	
Pedreiras	Ger	285	310	318	189	76	26	20	29	72	166	229	236	1958
	Obs	274	307	282	232	78	32	17	25	82	141	244	248	1963
	Test	-0,3	-0,1	-0,7	1,2	0,2	0,8	-0,4	-0,5	0,5	-1,0	0,4	0,3	
Pimenta Bueno	Ger	307	298	283	169	52	18	15	23	76	152	215	249	1857
	Obs	323	312	297	148	63	15	9	22	82	152	208	265	1896
	Test	0,6	0,6	0,6	-1,2	1,1	-0,4	-1,3	-0,1	0,4	0,0	-0,3	0,8	
Pimenteiras	Ger	350	263	328	125	61	14	6	24	79	205	254	374	2083
	Obs	358	260	278	137	72	14	7	22	98	217	260	372	2095
	Test	0,1	-0,1	-1,1	0,4	0,7	0,1	0,5	-0,2	0,6	0,3	0,1	0,0	
Príncipe da Beira	Ger	206	187	208	118	53	7	10	10	36	120	137	175	1267
	Obs	227	203	220	129	50	11	9	16	42	112	140	172	1331
	Test	0,8	0,8	0,5	0,5	-0,3	1,0	-0,3	1,1	0,7	-0,4	0,1	-0,1	
Rolim de Moura	Ger	294	272	278	133	56	7	6	32	73	144	184	298	1777
	Obs	271	250	277	139	56	15	8	28	80	176	211	271	1783
	Test	-0,9	-0,7	0,0	0,4	0,0	1,7	0,4	-0,5	0,5	1,5	1,0	-0,9	
Santo Antônio	Ger	376	294	317	215	122	30	13	27	113	166	211	312	2198
	Obs	356	318	329	220	125	33	14	30	106	180	211	285	2205
	Test	-0,8	1,3	0,4	0,2	0,2	0,4	0,0	0,4	-0,5	0,6	0,0	-1,2	
Seringal	Ger	334	235	265	182	81	13	7	25	102	137	220	266	1867
	Obs	316	262	284	196	85	25	8	36	98	148	209	264	1930
	Test	-0,6	1,2	0,7	0,6	0,3	1,4	0,1	1,1	-0,3	0,6	-0,6	-0,1	
Tabajara	Ger	324	277	315	207	136	33	20	61	122	196	224	287	2201
	Obs	334	282	297	209	120	30	22	54	135	192	216	299	2192
	Test	0,5	0,2	-0,6	0,1	-0,8	-0,3	0,4	-0,6	0,8	-0,2	-0,4	0,5	
Vista Alegre	Ger	382	296	282	144	54	17	11	26	68	131	260	283	1955
	Obs	366	301	296	156	61	16	12	27	90	134	270	314	2044
	Test	-0,3	0,2	0,6	0,7	0,8	-0,2	0,2	0,1	1,6	0,2	0,2	0,6	
Ouro Preto d'Oeste	Ger	298	249	260	169	79	15	7	31	98	166	217	263	1853
	Obs	282	277	270	186	73	19	10	34	92	151	218	285	1896
	Test	-0,8	1,4	0,4	0,7	-0,5	0,7	0,7	0,3	-0,4	-1,0	0,0	0,9	
Porto Velho	Ger	314	316	266	209	117	44	25	41	108	195	200	326	2161
	Obs	317	318	265	220	126	43	24	42	110	185	212	317	2179
	Test	0,2	0,1	-0,1	0,6	0,9	-0,2	-0,1	0,2	0,1	-0,7	0,9	-0,4	

Como mostra a Tabela 4, para quase todas as localidades e em quase todos os meses, a média mensal dos valores de chuva gerados e corrigidos foram considerados iguais, com exceção das localidades de Guajará-Mirim, Jarú, Marco Rondon e Mineração Massangana. Nessas localidades o Teste t mostrou que as médias geradas e preenchidas eram diferentes nos meses de maio, agosto, julho e março, respectivamente, para cada localidade.

As diferenças observadas entre os dados gerados e preenchidos nessas localidades, pode ser entendida pelo número de anos da série utilizada para a geração da série sintética pelo CLIMGEN, pelas características climáticas de cada um dos meses das respectivas localidades, ou ainda pela capacidade do programa em gerar novas séries em determinadas localidades. Isso mostra a importância de avaliar o ajuste entre os dados gerados e observados para todas as localidades, para que eventuais falhas na geração de dados pelo programa também possam ser identificadas.

Quanto ao tamanho da série, na localidade de Guajará-Mirim foi utilizada uma série suficientemente longa, como recomenda o programa, tendo 35 anos de dados de chuva. Sendo assim, a explicação para a diferença entre os dados gerados e preenchidos pode ser pela característica climática de transição entre a estação seca e chuvosa, tendo em vista que a diferença entre os dados ocorreu no mês de maio, ou mesmo pelas falhas do programa em gerar os dados nesse mês.

A localidade de Jarú, também foi analisada considerando uma série suficiente dentro das recomendações do programa, tendo 30 anos de dados, assim como as localidades de Marco Rondon que apresentava 28 anos de dados e a localidade Mineração Massangana que tinha 27 anos de dados de chuva. Quanto às características pluviométricas, os meses que apresentaram diferenças entre os dados gerados e preenchidos nas respectivas localidades foram agosto, julho e março, sendo os dois primeiros meses considerados secos e o mês de março sendo considerado, de forma geral, como um mês ainda bastante chuvoso.

Dessa forma, é possível verificar que todas as quatro localidades apresentavam o número mínimo de 25 anos recomendado pelo programa para as estimativas, sendo nesse caso as diferenças entre os dados gerados e corrigidos devido às próprias características climáticas de cada mês, o que configura meses de transição entre as estações seca e chuvosa, sendo meses de difícil previsão quanto aos totais pluviométricos.

Apesar das poucas localidades em que as séries de dados gerados e preenchidos pelo CLIMGEN foram diferentes, o programa pode ser considerado eficiente, tendo em vista que o ajuste entre os dados gerados e corrigidos não foram aceitáveis apenas em quatro meses de quatro localidades dentre a grande quantidade de meses e localidades analisadas. Além disso, vale considerar que em alguns meses, os valores gerados e preenchidos foram iguais, independentemente da necessidade da aplicação do Teste t , como mostra a Tabela 4 nas seguintes localidades: Ariquemes, Cachoeira de Samuel, Escola Caramuru, Fazenda Expansão, Guajará-Mirim, Mineração Oriente Novo, Mineração Massangana, Mirante da Serra, Nova Califórnia, Pimenta Bueno, Pimenteiras, Rolim de Moura, Santo Antônio e Ouro Preto d'Oeste.

A localidade Mineração Massangana apresentou os meses de novembro e dezembro com médias geradas e corrigidas iguais, o que confirma a capacidade do programa em gerar dados sintéticos e que a diferença entre os dados gerados e preenchidos nessa mesma localidade no mês de maio ocorreu devido à variabilidade climática do referido mês.

Outra forma de comparar os dados gerados e corrigidos foi por meio da análise de regressão entre as médias mensais dos dados gerados e as médias mensais dos dados corrigidos. Além de considerar o valor do R^2 no ajuste dos dados, também foi considerado o valor dos índices d de Willmott (1981) e c de Camargo e Sentelhas (1997), que representam o índice de concordância e de confiança, respectivamente (Tabela 5).

Para todas as localidades as análises de regressão mostraram um bom ajuste entre os dados gerados e os dados corrigidos. Tanto os valores de R^2 quanto os valores de d e c foram superiores a 0,96, indicando um ótimo ajuste, de acordo com o critério c de Camargo e Sentelhas, entre os dados gerados e corrigidos. As análises de regressão das localidades que tiveram os melhores resultados podem ser observadas na Figura 2.

As análises utilizadas para comparar os dados gerados e os dados corrigidos pelo CLIMGEN permitem confirmar que o programa é uma ferramenta eficiente no preenchimento de falhas em séries de dados climáticos. Tanto nas comparações realizadas pelo Teste t para cada mês, como pela análise de regressão, os resultados mostraram que os dados gerados estão de acordo com os dados preenchidos.

Tabela 5 – Coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância (d) e índice de confiança (c) para a comparação entre as médias mensais dos valores gerados e preenchidos de chuva nas localidades de Rondônia

Localidades	R^2	d	c
Abunã	0,994	1,000	0,997
Ariquemes	0,989	1,000	0,995
Cachoeira de Samuel	0,996	1,000	0,998
Cerejeiras	0,996	1,000	0,998
Colorado	0,988	1,000	0,994
Escola Caramurú	0,991	1,000	0,995
Fazenda Expansão	0,983	1,000	0,991
Fazenda Flor do Campo	0,997	1,000	0,999
Fazenda Rio Branco	0,989	1,000	0,994
Guajará Mirim	0,988	1,000	0,994
Jaru	0,987	1,000	0,993
Marco Rondon	0,993	1,000	0,997
Mineração Jacundá	0,975	1,000	0,987
Mineração Oriente Novo	0,987	1,000	0,993
Mineração Massangana	0,976	1,000	0,988
Mirante da Serra	0,989	1,000	0,994
Nova Califórnia	0,990	1,000	0,995
Ouro Preto	0,985	1,000	0,993
Pedras Negras	0,994	1,000	0,997
Pedreiras	0,969	1,000	0,984
Pimenta Bueno	0,993	1,000	0,996
Pimenteiras	0,985	1,000	0,993
Porto Velho	0,996	1,000	0,998
Príncipe da Beira	0,992	1,000	0,996
Rolim de Moura	0,978	1,000	0,989
Santo Antônio	0,988	1,000	0,994
Seringal	0,987	1,000	0,993
Tabajara	0,991	1,000	0,996
Vista Alegre	0,992	1,000	0,996

Mckague, Rudra e Ogilvie (2003) também avaliaram a capacidade do CLIMGEN em gerar dados para seis localidades no Canadá. As médias mensais dos valores gerados foram comparadas com as médias mensais dos dados observados nas respectivas localidades e com as normais climatológicas, considerando que nesse estudo as localidades dispunham de 20 anos de dados observados. A comparação das médias foi feita pelo Tete t a um nível de significância de 5% e comprovou a similaridade dos dados gerados com os dados observados e com as normais climatológicas nas seis localidades estudadas.

Estudos em outras regiões foram desenvolvidos testando a capacidade do CLIMGEN na geração de dados e chegaram a resultados semelhantes, como os obtidos por Tingem et al. (2007), avaliando a capacidade do programa CLIMGEN na estimativa de dados climáticos para 8 localidades de Camarões. A média mensal dos dados gerados também foi comparada com a média dos dados observados pelo Teste t a um nível de significância de 5%. Todas as localidades apresentaram bons ajustes entre os dados, mesmo tendo características pluviométricas distintas como mostram as médias pluviométricas anuais de 834mm em determinada região e de 3198mm em outra.

A utilização do programa CLIMGEN em diferentes condições climáticas como no Canadá e em Camarões apresentaram bons ajustes entre os dados gerados e observados, assim como nas localidades do estado de Rondônia, inseridas na região Amazônica.

Figura 2 – Relação entre os dados de precipitação gerados (Gerado) e corrigidos (Corrigido) empregando-se o modelo CLIMGEN em diferentes localidades de Rondônia

4.2 Análise de consistência – Método de Duplas Massas

Após a aplicação do Teste t comparando as médias dos dados gerados e dos dados corrigidos, foi feita a análise de consistência para verificar falhas e inconsistências devido ao preenchimento das séries com dados gerados pelo programa CLIMGEN.

Esse método foi aplicado plotando-se em um gráfico cartesiano os totais acumulados da localidade consistida com a média de precipitação acumulada de todas as outras localidades do estado de Rondônia com exceção do posto que estava sendo avaliado.

A inconsistência nos dados pode ser observada pelos valores de R^2 e pelos valores dos índices d de Willmott, que é considerado um eficiente método matemático para avaliar o método de duplas massas (WISSMANN et al., 2006) e o índice c de Camargo e Sentelhas que mostram o nível de ajuste entre os dados do posto avaliado com a média de todos os outros postos. Quando os valores de R^2 e dos índices d e c foram menores que 0,85, que é considerado ótimo, segundo os critérios do índice c , o ajuste entre os dados foi considerado impróprio para a utilização nas análises seguintes. Esse nível de ajuste pode ser interpretado como um erro na estimativa dos dados pelo programa, que pode ter gerado valores superiores ou inferiores para as condições climáticas da região.

A análise de consistência pelo método de duplas massas foi aplicada tanto nas séries geradas, quanto nas séries que tiveram apenas as falhas preenchidas, para que eventuais erros tanto no preenchimento quanto na geração de uma nova série fossem detectadas.

Primeiramente, foi realizada a análise de duplas massas apenas para as séries de dados que tiveram as falhas preenchidas e em seguida para as séries de dados gerados (Tabela 6). Dentre as 29 localidades analisadas apenas as de Cachoeira de Samuel e Príncipe da Beira não apresentaram ajustes satisfatórios entre a média acumulada dos dados pluviométricos do posto e média pluviométrica da região. Apesar do valor de R^2 nas duas localidades consideradas ter sido 0,99, os valores dos índices d de Willmott e c de Camargo e Sentelhas foram menores que 0,85, sendo considerados muito bom segundo o índice c de Camargo e Sentelhas, porém foi adotado que as localidades deveriam ter um ótimo ajuste de acordo com o índice c , o que fez com que essas localidades fossem descartadas nas análises seguintes.

Os resultados do ajuste entre as médias acumuladas de cada posto e a média acumulada da região foram similares, tanto nas séries de dados gerados quanto nas séries de dados que tiveram as falhas preenchidas. As análises nos dados gerados e nos dados corrigidos confirmaram a diferença no ajuste dos dados dos postos de Cachoeira de Samuel e Príncipe da Beira com a média pluviométrica acumulada da região indicando que nessas duas localidades o programa apresentou erros nas estimativas.

Tabela 6 – Coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância (d) e índice de confiança (c) do método de duplas massas para as séries geradas e corrigidas pelo programa CLIMGEN

Estação	Dados Corrigidos			Dados Gerados		
	r^2	d	c	r^2	d	c
Abunã	0,998	0,943	0,942	0,998	0,903	0,902
Ariquemes	1,000	0,997	0,997	0,999	0,994	0,994
Cach. de Samuel	0,995	0,798	0,795	0,993	0,791	0,788
Cerejeiras	0,998	0,960	0,959	0,999	0,954	0,953
Colorado d'Oeste	0,998	0,995	0,994	0,995	0,996	0,994
Escola Caramuru	0,999	0,978	0,977	0,999	0,972	0,971
Faz. Expansão	0,995	0,938	0,936	0,995	0,963	0,961
F. Flor do Campo	0,999	0,999	0,998	0,999	0,996	0,995
Faz. Rio Branco	0,998	0,977	0,976	0,999	0,976	0,975
Guajará Mirim	0,996	0,975	0,973	0,998	0,975	0,974
Jaru	0,999	1,000	0,999	0,999	0,992	0,992
Marco Rondon	0,998	0,997	0,996	0,997	0,991	0,990
Min. Jacundá	0,997	0,847	0,846	0,991	0,828	0,824
M. Oriente Novo	1,000	0,968	0,968	1,000	0,949	0,948
Min. Massangana	0,997	0,988	0,987	0,998	0,949	0,948
Mirante da Serra	0,996	0,965	0,963	0,996	0,958	0,956
Nova Califórnia	0,998	0,999	0,999	0,997	0,998	0,997
Pedras Negras	0,997	0,932	0,930	0,995	0,917	0,915
Pedreiras	0,998	0,999	0,998	0,998	0,999	0,998
Pimenta Bueno	0,997	0,996	0,994	0,999	0,993	0,993
Pimenteiras	0,998	0,995	0,994	0,987	0,997	0,990
Príncipe da Beira	0,996	0,752	0,751	0,998	0,700	0,699
Rolim de Moura	0,997	0,956	0,955	0,997	0,967	0,965
Santo Antônio	0,997	0,965	0,963	0,999	0,967	0,967
Seringal	1,000	0,998	0,998	0,999	0,992	0,991
Tabajara	0,997	0,983	0,982	0,996	0,977	0,975
Vista Alegre	0,996	0,998	0,996	0,996	0,997	0,995
Ouro Preto	1,000	0,990	0,990	0,999	0,984	0,984
Porto Velho	0,998	0,986	0,984	0,998	0,987	0,986

Esses erros podem ter ocorrido pelo número de anos da série utilizada nas estimativas. A localidade de Cachoeira de Samuel apresenta uma série de 32 anos, porém, apresenta falhas em pelo menos 16 anos. Essas falhas não são contínuas e em alguns anos correspondem a apenas alguns dias ou mês, porém apresenta alguns anos com falta total de dados.

A série da localidade de Príncipe da Beira tem 24 anos de dados e apresenta 5 anos com algum tipo de falha, seja ela de apenas alguns dias, meses ou mesmo um ano sem registro de dados. Além disso, nessa localidade a série não atende à exigência mínima de 25 anos pelo programa e apresenta 5 anos com falhas. Mesmo sob a suposição de que esses 5 anos não apresentassem nenhum registro de dados, a série ainda teria 19 anos completos, o que ainda representaria uma série maior que muitas outras que, apesar de pequenas, tiveram bons ajustes.

Nessas condições, os baixos valores dos índices d e c entre as médias acumuladas desses postos e as médias acumuladas da região são explicados pelas falhas nas séries de dados ou pelos índices pluviométricos, principalmente dos meses mais chuvosos com precipitação acima de 300 mm que resultaria em pequenos desvios em relação à média pluviométrica regional (FEPAM, 2003). Sendo assim, para que fosse comprovada a importância dos meses mais chuvosos no ajuste entre os dados dos dois postos e a média da região seriam necessárias séries de dados conforme as exigências do CLIMGEN, pois tanto um quanto o outro fator podem ter contribuído.

O método de duplas massas mostrou que para Cachoeira de Samuel e Príncipe da Beira o programa CLIMGEN não deve ser utilizado como simulador de dados climáticos. Nesse caso, para confirmar a eficiência do programa para essas duas localidades, são necessárias séries de dados dentro das exigências do programa, ou seja, que tenha pelo menos 25 anos de dados. Sendo assim, nas análises seguintes, não foram mais utilizados 29 postos meteorológicos, e sim 27.

Como todas as análises foram similares tanto para os dados gerados quanto para os dados corrigidos, além do Teste t que comprovou a igualdade entre as médias mensais dos dados gerados e corrigidos, na continuidade do presente estudo foi utilizada apenas a série de dados corrigida, que corresponde aos dados reais com as falhas preenchidas pelo programa CLIMGEN.

Os gráficos de duplas massas podem ser observados na Figura 3. Em algumas localidades as declividades são evidentes no gráfico, porém quando são analisados os valores de R^2 , d e c essas diferenças não são significativas, o que justifica a importância de uma análise com base nesses índices e não somente gráfica, para que as conclusões sobre o ajuste dos dados seja de forma consistente.

Figura 3 – Relação entre a precipitação acumulada em cada uma das localidades de Rondônia e a precipitação acumulada da região

4.3 Função Densidade de Probabilidade Gama – FDPG

A distribuição de probabilidade gama pode ser utilizada tanto na escala temporal quanto espacial. Sendo assim, o objetivo na utilização da distribuição gama foi comparar a distribuição de probabilidade da precipitação entre as 27 localidades estudadas em cada mês. Para que isso fosse possível foram adotadas classes de probabilidades iguais para todas as localidades, independente dos diferentes números de anos de cada localidade. Os meses mais chuvosos (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) tiveram intervalos de classe de 20 mm, enquanto que nos meses de transição (março, abril, setembro e outubro) esse intervalo foi 15 mm e nos meses mais secos (maio, junho, julho e agosto) de 5 mm.

Os parâmetros da função gama foram organizados em tabelas de acordo com as características pluviométricas e a localização dos postos meteorológicos. Do ponto de vista espacial, os postos meteorológicos foram distribuídos em três grupos de acordo com a latitude, ficando em um mesmo grupo os postos meteorológicos que apresentaram latitudes próximas.

Sendo assim, o primeiro grupo é representado pelas localidades que se encontram entre as latitudes de $-8^{\circ}46'$ e $-9^{\circ}53'$: Tabajara (Machadinho d'Oeste), Porto Velho, Mineração Oriente Novo (Machadinho d'Oeste), Mineração Jacundá (Itapuã d'Oeste), Ariquemes, Santo Antônio (Itapuã d'Oeste), Fazenda Rio Branco (Ariquemes), Abunã (Porto Velho), Nova Califórnia (Porto Velho) e Pedreiras (Porto Velho). No segundo grupo estão as localidades entre as latitudes de $-10^{\circ}14'$ e $-11^{\circ}44'$: Jarú, Seringal (Jarú), Escola Caramurú (Campo Novo de Rondônia), Mineração Ponte Massangana (Monte Negro), Guajará Mirim, Ouro Preto d'Oeste, Mirante da Serra, Fazenda Flor do Campo (Espigão d'Oeste) e Vista Alegre (Rolim de Moura). Finalmente, no terceiro grupo estão as localidades situadas entre as latitudes de $-11^{\circ}41'$ e $-13^{\circ}28'$: Pimenta Bueno, Rolim de Moura, Marco Rondon (Pimenta Bueno), Fazenda Expansão (Chupinguaia), Pedras Negras (Costa Marques), Colorado d'Oeste, Cerejeiras e Pimenteiras.

É importante considerar que essas estações estão localizadas em 20 municípios, sendo que alguns apresentam mais de uma estação, como no caso de Porto Velho, Ariquemes, Itapuã d'Oeste, Jarú, Machadinho d'Oeste e Costa Marques. Toda essa região onde as estações estão localizadas apresenta grandes áreas de desmatamento, fato esse que deve ser considerado na identificação das regiões com probabilidades de precipitação semelhantes.

Na escala temporal, foram agrupados os meses com características pluviométricas semelhantes para facilitar a comparação entre os parâmetros da função gama. Dessa forma ficaram no primeiro grupo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; no segundo, março, abril e maio; no terceiro, junho, julho e agosto e no quarto grupo, setembro, outubro e novembro.

Essa divisão foi adotada na comparação dos parâmetros da distribuição gama de todas as localidades estudadas, sendo possível comparar probabilidades iguais em meses com características pluviométricas semelhantes e identificar os meses no estado de Rondônia com distribuição de probabilidade de precipitação semelhante.

O ajuste da Função Densidade de Probabilidade Gama – FDPG, foi testado na escala mensal para as 27 localidades do estado de Rondônia pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%.

Em todas as localidades a função gama se ajustou aos dados observados, com exceção das localidades de Pedreiras no mês de junho, Mineração Jacundá no mês de julho, e Fazenda Rio Branco e Rolim de Moura no mês de agosto (Tabela 7). Esses meses são considerados secos, onde a distribuição de probabilidade que melhor se ajustaria aos dados observados para as estimativas mensais seria a exponencial, conforme observaram Lyra et al. (2006).

Os parâmetros da função gama nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro podem ser observados na Tabela 7 e na Figura 4. Esses meses são os mais chuvosos em quase todas as localidades do Estado e apresentam os maiores valores de α , e de maneira geral os menores graus de assimetria.

No mês de dezembro, as localidades do primeiro grupo que apresentaram os menores graus de assimetria foram Mineração Oriente Novo e Mineração Jacundá, como mostram os elevados valores de α e menores valores de β . No segundo grupo, o baixo grau de assimetria na distribuição de probabilidade da precipitação é evidente nas localidades de Ouro Preto d'Oeste e Jarú. E no último grupo as localidades com menor grau de assimetria foram Pimenta Bueno e Colorado d'Oeste.

Dentre as 27 localidades estudadas em Rondônia, os valores de α e β mostram que as localidades com características de distribuição de probabilidade da precipitação semelhantes no mês de dezembro são: Mineração Oriente Novo, Mineração Jacundá, Ouro Preto d'Oeste, Jarú, Pimenta Bueno e Colorado d'Oeste. Nesses meses o baixo grau de assimetria pode ser comprovado pelos coeficientes de variação que são os menores dentre as demais localidades. O

baixo grau de assimetria nessas localidades mostra que tanto os valores médios quanto a moda são representativos dos índices pluviométricos mensais (BLAIN et al., 2007).

Apesar do mês de dezembro ser considerado bastante chuvoso para as localidades de Pimenteiras e Fazenda Expansão as características são diferentes das demais localidades. A média mensal de precipitação nessas duas localidades é considerada dentro dos padrões do mês de dezembro, porém essas localidades foram as que apresentaram os menores valores do parâmetro α e o maiores valores do parâmetro β , o que indica um elevado grau de assimetria na distribuição de probabilidade da precipitação. O coeficiente de variação também pode ser considerado o maior dentre as demais localidades. Essa significativa diferença na distribuição de probabilidade da precipitação nessas duas localidades no mês de dezembro também pode ser observada na Figura 4. Nessas localidades os valores médios mensais de precipitação podem não ser representativos das condições pluviométricas da localidade como mostram os elevados graus de assimetria (BLAIN et al., 2007).

No mês de janeiro que pode ser considerado o mais chuvoso do ano em todas as localidades, o grau de assimetria é baixo como mostram os elevados valores de α . Nesse mês é mais fácil a identificação de localidades com distribuição de probabilidade da precipitação semelhantes. Dentro do primeiro grupo, as localidades de Porto Velho e Pedreiras podem ser consideradas semelhantes como mostram os valores próximos dos parâmetros α e β nas duas localidades. Outras localidades consideradas semelhantes entre si ainda no primeiro grupo são: Mineração Oriente Novo, Mineração Jacundá, Ariquemes, Santo Antônio e Fazenda Rio Branco.

No segundo grupo as localidades com valores próximos de α e β entre si são Jarú e Mirante da Serra. As localidades Escola Caramurú e Mineração Massangana também apresentam características de distribuição de probabilidade semelhantes, podendo, nesse caso, serem identificadas como regiões semelhantes entre si e ao mesmo tempo distintas das demais. Finalmente, no terceiro grupo, as localidades que se assemelham formando um grupo pluviometricamente distinto, como mostram os valores de α e β , são: Marco Rondon, Fazenda Expansão e Pedras Negras.

De forma geral, em todas as localidades no mês de janeiro o grau de assimetria é baixo, com exceção da localidade de Pimenteiras, que apresentou o valor de α muito baixo e o valor de β muito alto, como já havia sido discutido no mês de dezembro. Essa é uma localidade de alta variabilidade pluviométrica e diferente de todas as outras localidades nesse mês. A Figura 4

mostra as curvas de distribuição de probabilidade de todas as localidades e deixa evidente a diferença na distribuição de probabilidade da localidade de Pimenteira.

Apesar da semelhança entre algumas localidades mais próximas conforme foi definido pelos grupos de acordo com as coordenadas de latitude, a heterogeneidade espacial na distribuição de probabilidade da precipitação pode ser verificada pela semelhança entre os valores de α e β entre localidades que estão ao norte do Estado com outras ao sul, como as localidades de Abunã e Cerejeiras.

No mês de fevereiro, assim como nos meses de dezembro e janeiro o grau de assimetria é baixo, pois são considerados meses com alta probabilidade de chuva. Nesses meses também é possível comprovar a heterogeneidade pluviométrica no Estado pela semelhança nos valores dos parâmetros α e β em localidades distintas, como é o caso de: Porto Velho, Mineração Oriente Novo, Seringal, Mineração Massangana, Marco Rondon e Fazenda Expansão. Ainda em fevereiro é possível identificar a significativa diferença nos valores dos parâmetros α e β da localidade de Pimenteiras.

Tabela 7 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov

Localidades	Dezembro					Janeiro					Fevereiro				
	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S
Tabajara	5,6	53,7	299	42	0,12	22,9	14,6	334	21	0,07	6,0	46,9	282	41	0,13
Porto Velho	7,2	44,3	317	37	0,05	5,9	53,5	317	41	0,12	9,5	33,5	318	32	0,06
Min. Oriente Novo	17,9	18,7	335	24	0,10	15,0	22,0	329	26	0,12	9,7	32,9	320	32	0,07
Min. Jacundá	9,3	38,5	358	33	0,10	11,9	36,8	436	29	0,08	18,3	18,7	342	23	0,08
Ariquemes	7,1	39,7	283	37	0,07	10,4	29,5	307	31	0,11	11,2	28,6	320	30	0,07
Santo Antônio	5,6	50,4	285	42	0,13	14,3	24,8	356	26	0,07	18,3	17,3	318	23	0,03
Faz. Rio Branco	8,7	37,3	323	34	0,09	11,8	31,9	378	29	0,08	12,4	25,2	312	28	0,10
Abunã	4,3	56,4	241	48	0,12	3,6	80,9	288	53	0,11	3,7	57,8	213	52	0,08
Nova Califórnia	4,4	52,1	232	47	0,05	8,5	34,5	292	34	0,09	5,4	53,1	288	43	0,10
Pedreiras	5,4	46,0	248	43	0,10	5,0	55,2	274	45	0,07	3,4	90,4	307	54	0,11
Jaru	13,8	21,1	292	27	0,07	9,1	33,9	307	33	0,09	10,1	29,0	294	31	0,09
Seringal	8,0	33,1	264	35	0,08	7,7	41,0	316	36	0,10	7,5	34,8	262	36	0,08
Esc. Caramuru	6,3	53,0	335	40	0,10	11,2	30,2	336	30	0,06	7,3	45,4	330	37	0,08
Min.Massangana	7,3	43,5	320	37	0,08	10,0	37,9	379	32	0,11	7,7	35,7	276	36	0,11
Guajará Mirim	4,7	46,3	218	46	0,06	3,5	77,6	274	53	0,09	3,3	74,1	242	55	0,14
Ouro Preto	16,0	17,8	285	25	0,10	15,5	18,2	282	25	0,11	16,2	17,0	277	25	0,10
Mirante da Serra	7,8	24,2	190	36	0,09	7,5	36,7	276	36	0,07	12,7	21,0	267	28	0,09
Faz Flor do Campo	9,7	30,6	296	32	0,11	12,5	25,5	318	28	0,10	14,1	22,0	311	27	0,12
Vista Alegre	3,3	94,7	314	55	0,16	4,5	82,1	366	47	0,15	5,0	59,6	301	45	0,06
Pimenta Bueno	10,3	25,6	265	31	0,08	11,6	27,9	323	29	0,10	13,1	23,9	312	28	0,15
Rolim de Moura	9,7	28,0	271	32	0,09	14,6	18,6	271	26	0,07	12,2	20,5	250	29	0,10
Marco Rondon	5,7	51,0	291	42	0,11	7,3	43,8	321	37	0,06	7,7	36,6	281	36	0,09
Faz. Expansão	2,1	93,2	192	70	0,22	6,7	42,1	283	39	0,07	8,7	35,3	306	34	0,09
Pedras Negras	5,9	45,3	270	41	0,08	6,2	42,9	266	40	0,14	6,1	42,6	262	40	0,06
Colorado do Oeste	13,8	21,0	289	27	0,08	29,4	10,5	309	18	0,07	10,0	26,8	268	32	0,10
Cerejeiras	6,4	43,8	281	39	0,13	3,8	78,8	296	52	0,16	5,4	50,1	268	43	0,18
Pimenteiras	1,3	276,4	372	86	0,16	1,7	208,3	358	76	0,17	2,4	106,4	260	64	0,09

Figura 4 – Distribuição de probabilidade nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em diferentes localidades do estado de Rondônia

Na Tabela 8 e na Figura 5 são apresentados os parâmetros da FDPG para os meses de março, abril e maio, que em algumas localidades ainda podem ser bastante chuvosos e em outras já serem considerados secos. Nesses meses fica clara a redução gradativa dos índices pluviométricos que antecedem o início da estação seca, conforme mostra a diminuição dos valores do parâmetro α .

No mês de março o grau de assimetria é baixo nas localidades: Santo Antônio, Fazenda Rio Branco, Jarú, Vista Alegre, Pimenta Bueno e Vista Alegre. Essas localidades podem ser consideradas homogêneas quanto à distribuição de probabilidade pluviométrica. Outras localidades consideradas semelhantes ainda no mês de março de acordo com os parâmetros α e β são: Mineração Oriente Novo, Mineração Jacundá, Ariquemes, Nova Califórnia, Mineração Massangana, Ouro Preto d'Oeste, Fazenda Expansão, Pedras Negras e Colorado d'Oeste. A localidade que apresentou maior grau de assimetria foi Pimenteiras como aconteceu em todos os outros meses anteriormente analisados (Figura 4).

Conforme era esperado, no mês de abril os valores dos parâmetros α são inferiores a 10 para todas as localidades estudadas. Isso ocorre devido à diminuição nos índices pluviométricos fazendo com que o grau de assimetria aumente nos meses mais secos, representado pelos menores valores de α , o qual é inversamente proporcional ao grau de assimetria.

As localidades com os menores graus de assimetria nesse mês são: Tabajara, Santo Antônio, Abunã, Escola Caramurú e Ouro Preto d'Oeste. Duas localidades se destacam pelos maiores graus de assimetria representados pelos menores valores do parâmetro α , Guajará Mirim e Pimenteiras. Nessas localidades, o mês de abril é considerado heterogêneo na distribuição de probabilidade da precipitação conforme os elevados valores do coeficiente de variação.

No mês de maio há uma maior diminuição nos valores do parâmetro α . Em todas essas localidades o parâmetro α foi menor que 4, o que indica que é um mês que antecede a estação seca. Em todas as localidades nesse mês pode ser considerado que o grau de assimetria na distribuição de probabilidade da precipitação é alto, com exceção da localidade de Colorado d'Oeste que apresenta o maior valor do parâmetro α e o menor coeficiente de variação. Essa é a única localidade que pode ser considerada com um grau maior de homogeneidade na distribuição de probabilidade da precipitação em um mês com características secas, como o mês de maio.

Tabela 8 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de março, abril e maio. Med: Média da precipitação mensal no período da série.
CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov

Localidades	Março					Abril					Maio				
	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S
Tabajara	2,8	104,9	297	59	0,10	4,1	50,6	209	49	0,17	2,2	54,4	120	67	0,18
Porto Velho	14,3	18,5	265	26	0,06	7,4	29,6	220	37	0,09	3,9	32,4	126	51	0,08
Min. Oriente Novo	9,9	34,3	339	32	0,11	5,9	36,6	214	41	0,06	2,8	38,2	108	59	0,10
Min. Jacundá	11,3	35,7	405	30	0,08	9,8	27,4	269	32	0,09	3,2	40,5	130	56	0,09
Ariquemes	7,6	38,1	290	36	0,09	5,2	37,3	194	44	0,07	2,9	37,6	108	59	0,09
Santo Antônio	11,2	29,4	329	30	0,05	3,9	56,4	220	51	0,16	3,4	36,9	125	54	0,17
Faz. Rio Branco	13,9	23,5	327	27	0,12	4,5	40,8	184	47	0,14	3,2	29,3	92	56	0,15
Abunã	3,5	63,0	220	54	0,09	3,3	52,6	172	55	0,07	3,9	20,9	81	51	0,09
Nova Califórnia	7,8	34,8	272	36	0,10	8,5	24,1	205	34	0,07	2,0	48,2	94	71	0,07
Pedreiras	4,6	61,8	282	47	0,18	3,9	60,3	232	51	0,09	1,8	44,4	78	75	0,08
Jaru	11,0	28,2	309	30	0,14	7,7	23,7	182	36	0,10	3,0	26,6	79	58	0,19
Seringal	5,1	55,1	284	44	0,07	4,9	40,1	196	45	0,05	2,0	43,0	85	71	0,16
Esc. Caramurú	15,5	19,2	298	25	0,09	4,3	50,3	218	48	0,11	3,2	28,5	90	56	0,19
Min. Massangana	8,6	32,9	283	34	0,11	3,7	48,9	182	52	0,12	1,8	60,4	108	75	0,11
Guajará Mirim	2,8	89,8	252	60	0,14	1,9	94,0	176	73	0,13	1,6	63,9	104	78	0,09
Ouro Preto	8,9	30,2	270	33	0,13	3,3	55,8	186	55	0,11	2,3	30,9	73	65	0,09
Mirante da Serra	5,6	45,2	253	42	0,08	6,0	28,2	169	41	0,07	1,6	48,3	79	78	0,10
Faz. Flor do Campo	4,4	64,7	287	47	0,15	6,3	24,3	154	40	0,22	2,6	27,2	72	62	0,14
Vista Alegre	12,3	24,0	296	29	0,09	4,6	33,8	156	47	0,11	3,5	17,3	61	53	0,11
Pimenta Bueno	11,4	26,1	297	30	0,12	8,7	17,0	148	34	0,10	2,2	28,5	63	67	0,12
Rolim de Moura	11,4	24,3	277	30	0,11	5,2	26,9	139	44	0,14	1,5	38,4	56	83	0,16
Marco Rondon	5,3	58,6	311	43	0,10	5,3	31,8	169	43	0,10	1,3	47,7	63	87	0,13
Faz. Expansão	5,6	39,8	225	42	0,08	4,0	34,7	138	50	0,13	1,7	42,5	72	77	0,12
Pedras Negras	7,6	30,8	233	36	0,16	2,2	63,4	137	68	0,10	1,3	41,4	55	87	0,14
Colorado do Oeste	8,4	31,1	261	35	0,09	6,0	28,2	170	41	0,19	4,0	21,9	88	50	0,14
Cerejeiras	5,9	42,6	253	41	0,08	5,2	27,4	143	44	0,08	1,6	36,9	59	79	0,14
Pimenteiras	1,7	165,9	278	77	0,12	1,1	124,7	137	95	0,08	1,0	74,0	72	101	0,09

Figura 5 – Distribuição de probabilidade nos meses de março, abril e maio em diferentes localidades do estado de Rondônia

Os parâmetros da FDPG nos meses mais secos do ano, junho, julho e agosto podem ser observados na Tabela 9 e na Figura 6. Nesses meses, de forma geral, o grau de assimetria é bastante alto conforme os valores de α diminuem para um patamar igual ou inferior a 1. Nesses meses o alto coeficiente de variação em todas as localidades nesses meses comprovam a grande variabilidade na ocorrência dos eventos de precipitação no Estado.

Conforme relatam Botelho e Morais (1999) as estimativas do parâmetro α apresentaram valores maiores nos meses mais secos (junho, julho e agosto), que pode ser explicado pela pronunciada assimetria nesse período, visto que a assimetria é inversamente proporcional ao α .

Em todas as localidades, no mês de junho, é evidente o forte grau de assimetria na distribuição da precipitação pelos valores de α inferiores a 1, com exceção das localidades de Porto Velho, Mineração Jacundá, Abunã e Pedreiras. É importante ressaltar que todas essas localidades estão mais ao norte do Estado, o que indica que essa região pode ser considerada mais homogênea quando comparadas às demais localidades nesse mesmo mês.

O mês de julho pode ser considerado o mais seco do ano em todas as localidades. Nesse mês os valores do parâmetro α são inferiores a 1 para todas as localidades, o que indica um forte grau de assimetria. O baixo nível de homogeneidade na distribuição de probabilidade da precipitação nesse mês em todas as localidades pode ser comprovado pelos maiores valores do coeficiente de variação que em todas as localidades são superiores a 100%.

No mês de agosto, assim como no mês de junho, a grande maioria das localidades apresentam elevado grau de assimetria conforme mostram os valores de α inferiores a 1, com exceção das localidades de Tabajara, Mineração Oriente Novo, Porto Velho e Abunã. Nessas localidades o parâmetro α é maior que 1, indicando que elas podem ser consideradas mais homogêneas na distribuição de probabilidade da precipitação quando comparadas as demais.

Assim como no mês de junho, as localidades de Porto Velho e Abunã apresentaram valores de α maiores que 1 no mês de agosto. Isso mostra que dentre as localidades com menores graus de assimetria essas podem ser consideradas as mais semelhantes nesses três meses considerados bastante secos. Nas demais localidades é evidente a semelhança quanto à heterogeneidade na distribuição de probabilidade da precipitação nos três meses mais secos do ano. A semelhança na distribuição das probabilidades de precipitação nos meses de junho, julho e agosto pode ser observada na Figura 6. Em todas as localidades os gráficos mostram as altas probabilidades de ocorrência de baixos valores de precipitação mensal.

Tabela 9 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de junho, julho e agosto. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov

Localidades	Junho					Julho					Agosto				
	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S
Tabajara	0,6	47,1	30	125	0,12	0,7	31,9	22	120	0,16	1,0	57,2	54	102	0,10
Porto Velho	1,0	45,7	44	102	0,14	0,8	29,6	24	110	0,13	1,2	35,5	42	92	0,14
Min, Oriente Novo	0,8	29,8	23	113	0,15	0,6	21,5	12	133	0,09	1,0	32,9	33	99	0,15
Min, Jacundá	1,3	30,9	39	89	0,13	0,6	31,7	20	125	0,26	0,8	37,2	30	111	0,12
Ariquemes	0,7	25,7	19	117	0,09	0,6	15,1	9	127	0,13	0,7	43,2	29	122	0,21
Santo Antônio	0,7	49,0	33	121	0,13	0,7	19,7	14	120	0,15	0,8	36,6	30	111	0,18
Faz, Rio Branco	0,6	23,5	15	124	0,16	0,6	14,5	9	129	0,17	0,6	43,0	25	132	0,25
Abunã	1,0	34,9	36	99	0,16	0,8	16,7	13	112	0,17	1,0	34,9	35	99	0,16
Nova Califórnia	0,7	41,8	31	116	0,22	0,9	22,5	19	108	0,18	0,9	42,6	37	107	0,21
Pedreiras	1,1	29,3	32	96	0,26	0,6	28,9	17	129	0,11	0,6	39,7	25	126	0,20
Jaru	0,7	17,5	12	120	0,15	0,8	15,2	11	115	0,13	0,8	37,7	29	115	0,18
Seringal	0,5	46,3	25	137	0,13	0,6	12,7	8	127	0,10	0,7	54,6	36	124	0,14
Esc, Caramuru	0,5	77,7	36	146	0,12	0,6	32,6	19	130	0,12	0,9	52,3	50	103	0,17
Min, Massangana	0,6	46,9	30	125	0,14	0,7	23,8	18	115	0,10	0,9	42,5	37	107	0,17
Guajará Mirim	0,5	63,2	33	138	0,09	0,5	65,1	32	142	0,10	0,7	51,1	35	121	0,09
Ouro Preto	0,7	27,1	19	120	0,11	0,7	14,5	10	122	0,12	0,7	51,4	34	123	0,15
Mirante da Serra	0,7	24,9	18	119	0,13	0,7	27,2	18	124	0,13	0,9	43,6	40	104	0,10
Faz, Flor do Campo	0,6	39,1	22	134	0,18	0,4	50,0	20	159	0,13	0,5	62,4	33	138	0,21
Vista Alegre	0,6	25,7	16	125	0,12	0,5	23,9	12	140	0,16	0,6	45,0	27	129	0,15
Pimenta Bueno	0,6	27,5	15	135	0,10	0,6	13,4	9	125	0,16	0,8	28,5	22	114	0,14
Rolim de Moura	0,5	29,2	15	138	0,17	0,6	14,9	8	135	0,19	0,8	36,7	28	115	0,25
Marco Rondon	0,5	33,3	17	141	0,11	0,5	22,6	10	147	0,10	0,7	36,2	24	122	0,11
Faz, Expansão	0,6	18,7	11	132	0,23	0,7	8,9	6	118	0,16	0,5	37,0	20	137	0,19
Pedras Negras	0,5	46,1	24	138	0,19	0,5	19,6	11	136	0,12	0,5	38,1	21	135	0,20
Colorado do Oeste	0,7	31,5	21	122	0,11	0,7	17,9	12	123	0,20	0,7	47,4	33	121	0,08
Cerejeiras	0,6	34,7	20	131	0,19	0,5	21,9	12	135	0,15	0,7	27,7	20	116	0,19
Pimenteiras	0,6	24,7	14	133	0,18	0,7	10,0	7	118	0,15	0,5	43,4	22	142	0,15

Figura 6 – Distribuição de probabilidade nos meses de junho, julho e agosto em diferentes localidades do estado de Rondônia

Ao contrário dos meses de março, abril e maio, que apresentam valores decrescentes do parâmetro α , pois compreendem os meses de transição que antecedem a estação seca, os meses de setembro, outubro e novembro apresentam valores crescentes do parâmetro α , pois representam os meses posteriores a estação seca quando começam a ocorrer os primeiros eventos significativos de precipitação (Tabela 10 e Figura 7).

No mês de setembro para todas as localidades o grau de assimetria da distribuição de probabilidade da precipitação é alto como representado pelos valores do parâmetro α inferiores a 4. Dentre todas as localidades analisadas as que podem ser consideradas mais homogêneas quanto a distribuição de probabilidade da precipitação no mês de setembro são Santo Antônio e Mirante da Serra, que apresentaram o parâmetro α maior que 4 e coeficientes de variação inferiores a 50%.

No mês de outubro o grau de assimetria na distribuição de probabilidade da precipitação tende a diminuir em todas as localidades conforme pode ser comprovado pelo aumento dos valores do parâmetro α . As localidades que mais diferem pelo forte grau de assimetria são Pedreiras e Pimenteiras (Figura 7) e Ouro Preto d'Oeste pelo baixo grau de assimetria, podendo ser considerada uma localidade com uma distribuição de probabilidade da precipitação mais homogênea quando comparada as demais localidades no mês de setembro.

O grau de assimetria tende a diminuir em novembro, que pode ser considerado um mês com característica chuvosa, como mostram as médias de quase todas as localidades superiores a 200 mm. Nesse mês é possível identificar as seguintes localidades semelhantes quanto ao nível de simetria na distribuição de probabilidade da precipitação: Tabajara, Porto Velho, Mineração Oriente Novo, Ariquemes, Fazenda Rio Branco, Nova Califórnia, Seringal, Escola Caramurú, Ouro Preto d'Oeste, Pedras Negras e Colorado d'Oeste. Em todas essas localidades os valores dos parâmetros α e β foram similares indicando uma homogeneidade na distribuição de probabilidade da precipitação.

As localidades que apresentaram o maior grau de assimetria foram Pedreiras e Pimenteiras (Figura 7). Assim como no mês de outubro, essas localidades apresentaram os maiores valores do coeficiente de variação.

Tabela 10 – Parâmetros da distribuição gama nos meses de setembro, outubro e novembro. Med: Média da precipitação mensal no período da série. CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov

Localidades	Setembro					Outubro					Novembro				
	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S	α	β	Med	CV	K-S
Tabajara	3,3	41,4	135	55	0,06	4,2	45,2	192	49	0,10	6,9	31,3	216	38	0,12
Porto Velho	2,7	40,7	110	61	0,15	8,9	20,8	185	34	0,08	6,9	30,8	212	38	0,09
Min. Oriente Novo	2,6	45,5	120	62	0,17	6,9	28,6	198	38	0,11	7,2	36,0	258	37	0,08
Min. Jacundá	1,7	65,3	109	77	0,12	3,9	52,0	201	51	0,05	3,4	74,4	251	54	0,11
Ariquemes	2,3	44,8	104	66	0,11	3,6	48,2	173	53	0,10	6,7	36,5	244	39	0,06
Santo Antônio	4,6	22,8	106	46	0,07	2,9	62,6	180	59	0,09	2,6	81,4	211	62	0,20
Faz. Rio Branco	1,5	65,2	98	82	0,13	5,5	38,0	207	43	0,09	7,0	36,8	258	38	0,08
Abunã	2,3	32,1	72	66	0,09	3,2	49,8	160	56	0,09	3,5	51,1	179	53	0,10
Nova Califórnia	2,6	42,5	111	62	0,12	4,1	39,5	161	50	0,12	6,2	38,6	238	40	0,07
Pedreiras	1,0	82,6	82	100	0,11	1,6	90,8	141	80	0,16	1,7	147,8	244	78	0,19
Jaru	1,8	47,6	84	75	0,18	5,7	29,4	166	42	0,08	5,7	36,2	204	42	0,17
Seringal	1,9	52,2	98	73	0,06	3,8	38,9	148	51	0,09	6,6	31,4	209	39	0,08
Esc. Caramurú	3,3	37,4	122	55	0,10	9,7	15,9	154	32	0,06	7,0	34,0	238	38	0,09
Min. Massangana	2,7	44,5	120	61	0,10	5,4	37,7	203	43	0,07	4,2	52,4	218	49	0,18
Guajará Mirim	1,2	71,4	83	93	0,12	1,8	73,4	131	75	0,12	7,2	25,7	185	37	0,06
Ouro Preto	2,0	45,1	92	70	0,13	10,9	13,9	151	30	0,09	6,7	32,5	218	39	0,11
Mirante da Serra	4,2	19,4	82	49	0,10	3,2	43,5	141	56	0,12	4,5	36,8	167	47	0,19
Faz. Flor do Campo	2,6	33,7	86	63	0,10	6,1	25,8	157	41	0,14	4,0	51,0	202	50	0,09
Vista Alegre	1,4	64,8	90	85	0,13	2,8	47,6	134	60	0,10	3,4	78,3	270	54	0,13
Pimenta Bueno	2,1	38,9	82	69	0,10	9,4	16,2	152	33	0,12	7,3	28,6	208	37	0,07
Rolim de Moura	2,6	30,4	80	62	0,08	6,7	26,3	176	39	0,06	4,4	47,8	211	48	0,07
Marco Rondon	2,7	28,6	78	61	0,09	5,9	26,0	153	41	0,06	3,6	58,0	209	53	0,11
Faz. Expansão	1,3	43,4	55	89	0,16	4,1	40,1	166	49	0,11	12,6	11,9	151	28	0,07
Pedras Negras	1,0	77,7	80	98	0,09	3,4	43,6	147	54	0,10	6,0	35,2	211	41	0,08
Colorado do Oeste	2,0	52,6	103	71	0,10	4,4	41,9	183	48	0,06	7,3	30,8	226	37	0,07
Cerejeiras	1,9	39,6	75	73	0,15	2,6	54,1	142	62	0,15	5,1	38,2	196	44	0,09
Pimenteiras	0,8	128,4	98	114	0,09	1,5	143,8	217	81	0,09	1,6	160,3	260	78	0,15

Figura 7 – Distribuição de probabilidade nos meses de setembro, outubro e novembro em diferentes localidades do estado de Rondônia.

A aplicação da FDPG em todas as localidades estudadas do estado de Rondônia permitiu se identificar as localidades semelhantes quanto à distribuição de probabilidade da precipitação, para as classes de 320 mm no mês de janeiro; 300 mm em fevereiro e março; 180 mm em abril; 90 mm em maio; 20 mm em junho; 10 mm em maio; 30 mm em agosto; 105 mm em setembro; 165 mm em outubro; 220 mm em novembro e 300 mm em dezembro.

Os mapas com a interpolação das probabilidades da ocorrência das classes de precipitação foram gerados para cada mês, sendo verificada uma grande heterogeneidade espacial na distribuição de probabilidade da precipitação no Estado, e também entre os meses, conforme mostram as Figuras 8 a 19. Estudo como esse foi realizado por Lyra et al. (2006) no estado de Táchira, Venezuela, onde foram identificadas quatro regiões com precipitação homogênea nos períodos seco, de transição e úmido.

Os meses mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro) apresentaram uma similaridade nas probabilidades de precipitação, sendo que os menores valores se concentraram na região nordeste do Estado, onde as probabilidades foram menores que 55%. Os meses de fevereiro e dezembro foram similares, quanto à ocorrência de valores de precipitação entre 50 e 60 % em uma faixa desde o nordeste do Estado passando pela região central e atingindo a região sudeste (Figura 9) e a região sul do Estado (Figura 19).

Na região nordeste e central do Estado estão localizadas quase todas as estações utilizadas no estudo. Além disso, essa é a região onde está localizado o eixo da BR-364 que caracteriza-se como uma área com elevados níveis de desmatamento. Os municípios localizados nessa região que mais desmataram foram Ariquemes (2874,9 Km² desmatados), Chupinguaia (2404,8 Km²), Jarú (2381,9 Km²), Ji-Paraná (2312,5 Km²), Machadinho d'Oeste (2429,8 Km²), Ouro Preto d'Oeste (1684 Km²), Pimenta Bueno (2441,8 Km²), Porto Velho (6246,4 Km²) e Rolim de Moura (1250 Km²), sendo que a maioria deles estão localizados no eixo da BR-364.

Sendo assim, foi possível identificar regiões semelhantes no Estado quanto às classes de probabilidade de precipitação para os meses chuvosos, indicando que os eventos de precipitação são mais influenciados por fatores locais de topo escala e microescala do que fatores de macroescala. Carvalho e Queiroz (2002) mostraram significativa correlação linear entre altitude e precipitação, indicando que a altitude é uma variável importante na distribuição da precipitação.

Além disso, é verificada uma tendência de diminuição das probabilidades de chuva no sentido da região sul para a região norte do Estado nos meses chuvosos. Segundo Baú et al.

(2006) o comportamento espacial da precipitação possui uma estreita correlação com a variação temporal, sendo que as regiões com os menores percentuais de precipitação sofrem as maiores variações. Isso foi verificado pela distribuição gama para os meses mais secos onde fica evidente a forte assimetria nesses meses e a grande variação como mostram os coeficientes de variação da precipitação superiores a 100% durante esse período. Sendo assim, além da diminuição da probabilidades de chuva no sentido sul-norte do Estado, essa região pode estar apresentando uma maior variabilidade da precipitação.

Nos meses de março, abril e maio, ainda são evidentes as maiores probabilidades de ocorrência de precipitação na região central e sul do Estado. No mês de março ainda é verificado, assim como no mês de abril, valores de probabilidade de precipitação menores que 55% ocorrendo na região sudeste do Estado, ficando claro que os menores valores de probabilidade de precipitação estão concentrados na região nordeste (Figura 10). Nos meses de abril e maio a distribuição de probabilidade da precipitação é semelhante, ficando os maiores valores de probabilidade concentrados da região sul até a parte central de Rondônia (Figuras 11 e 12).

Nos meses de junho e julho os menores valores de probabilidade acontecem na região norte e se estendem até a região noroeste do Estado. Nesses meses os valores de probabilidade acima de 60% ocorrem até a região central e avançam até parte da região norte, indicando uma homogeneidade espacial da distribuição de probabilidade da precipitação (Figuras 13 e 14). No mês de agosto, as probabilidades de precipitação acima de 60 % ocorrem apenas da região sul até a porção central do Estado, com exceção de uma pequena faixa, na região nordeste, onde estão localizados os municípios de Ji-Paraná e Ariquemes, que também apresentam probabilidades acima de 60 %. No restante do Estado, a probabilidade de chuva é inferior a 55 % (Figura 15).

O mês de setembro (Figura 16), apesar de ser considerado um mês ainda com médio índice pluviométrico (105 mm), tem uma distribuição de probabilidade semelhante ao mês de janeiro (Figura 8) que é muito mais chuvoso, com média pluviométrica de 320 mm. Nesse mês os menores valores de probabilidade da precipitação estão concentrados na parte central do Estado e se estendem até a região nordeste.

Assim como no mês de setembro, em outubro (Figura 17) os menores valores de probabilidade da precipitação ficaram concentrados na região central do Estado, porém em uma faixa menor que corresponde à região de Ariquemes e parte do município de Porto Velho, se estendendo até a região nordeste do Estado.

O mês de novembro (Figura 18) foi o que apresentou maior homogeneidade na distribuição de probabilidade da precipitação. Em praticamente todo o Estado os valores ficaram entre 49 e 66 %, com exceção de poucos pontos isolados que apresentaram maiores valores de probabilidade, como na região de Pimenteiras e Chupinguaia, e menores valores de probabilidade na região nordeste de Ariquemes.

De modo geral, as classes de probabilidade mostram que as regiões norte, nordeste e sudeste do Estado são as que apresentam os menores índices de probabilidade de precipitação dentro das classes adotadas. Essa também é a região onde estão os menores índices de precipitação que são de 1300 mm a 1500 mm segundo o mapa de isoietas do Estado. Os eventos de precipitação, de forma geral são influenciados principalmente pelos seguintes fenômenos atmosféricos: altas convecções diurnas associadas a fenômenos atmosféricos de larga escala como a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e as Linhas de Instabilidades – LIs (FERNANDES; PEDROSO, 2003).

Isso poderá ser explicado pelas mudanças na cobertura vegetal devido aos elevados índices de desmatamento nessa região, porém estudos com séries maiores de dados climáticos e com um maior número de estações, distribuídas de forma homogênea no Estado devem ser realizados para que esses efeitos sejam confirmados.

Figura 8 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 320mm no mês de janeiro

Figura 9 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 300mm no mês de fevereiro

Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 300mm no mês de março

Figura 11 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 180mm no mês de abril

Figura 12 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 90mm no mês de maio

Figura 13 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 20mm no mês de junho

Figura 14 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 10mm no mês de julho

Figura 15 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 30mm no mês de agosto

Figura 16 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 105mm no mês de setembro

Figura 17 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 165mm no mês de outubro

Figura 18 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 220mm no mês de novembro

Figura 19 – Probabilidade de ocorrência de precipitação igual a 300mm no mês de dezembro

4.4 Análise Multivariada

Além de testar o ajuste da FDPG em todas as localidades de Rondônia em cada um dos meses para, assim, identificar as localidades pluviometricamente semelhantes quanto à distribuição de probabilidade, também foi utilizada a análise multivariada para, de uma forma mais clara, agrupar as localidades e os meses semelhantes.

Essa análise foi realizada com a média mensal de todos os anos de cada uma das localidades. Dessa forma, foi organizada uma matriz onde as colunas representavam as localidades e as linhas representavam as médias mensais pluviométricas referentes ao número de anos de cada localidade. Com essa planilha foi possível identificar as localidades com características pluviométricas semelhantes. Uma segunda planilha foi organizada, sendo nesse caso, as colunas referentes aos meses e as linhas referentes às localidades.

A análise multivariada permitiu o agrupamento das localidades semelhantes com base em valores considerados, para algumas localidades, como a normal climatológica de cada mês, ao contrário da FDPG que é uma análise mais detalhada de acordo com os valores mensais de precipitação registrados em cada ano. Sendo assim, a análise multivariada foi utilizada como um agrupamento mais geral das localidades e dos meses pluviometricamente semelhantes, podendo ser comparada com os resultados da distribuição gama.

De acordo com os agrupamentos gerados pelo método de Agrupamento Pareado não Ponderado Baseado na Média Aritmética – UPGMA, foi possível identificar em Rondônia grupos com características pluviométricas semelhantes. Tais grupos foram definidos pelo corte transversal do dendrograma de agrupamento baseado na distância de ligação entre os grupos das localidades semelhantes, e nos agrupamentos dos meses, segundo a sazonalidade da precipitação no Estado.

No primeiro grupo estão as localidades: Abunã, Guajará Mirim, Mirante da Serra; e Fazenda Expansão; no segundo grupo estão as localidades: Cerejeiras, Pedras Negras, Rolim de Moura, Colorado d'Oeste, Seringal, Ouro Preto d'Oeste, Fazenda Flor do Campo, Pimenta Bueno, Jaru, Marco Rondon, Nova Califórnia e Pedreiras; no terceiro grupo estão: Ariquemes, Tabajara, Porto Velho, Escola Caramurú, Santo Antônio, Mineração Massangana, Fazenda Rio Branco, Mineração Oriente Novo; no quarto grupo estão as localidades de Pimenteiras e Vista

Alegre. Diferente das características da precipitação dos quatro grupos, a localidade Mineração Jacundá ficou isolada das demais em um quinto grupo (Figura 20).

Além dos três grandes grupos identificados na Figura 20 é possível verificar a semelhança entre localidades em grupos menores que espacialmente, em alguns casos, estão localizados próximos, porém em outros estão distantes como algumas localidades que estão ao norte do Estado e outras que estão ao sul. Por exemplo, no primeiro grupo onde estão as localidades de Abunã e Fazenda Expansão e no segundo grupo, Colorado d'Oeste e Nova Califórnia. Nos grupos três e quatro as localidades estão mais próximas espacialmente.

Dentre todos os grupos, as localidades mais semelhantes são Jarú e Marco Rondon, seguidas por Fazenda Flor do Campo e Pimenta Bueno. As localidades de Marco Rondon, Fazenda Flor do Campo e Pimenta Bueno estão na região sudeste do estado de Rondônia, enquanto que Jarú fica na região nordeste do Estado. Isso mostra que podem ocorrer grupos semelhantes em diferentes regiões do Estado.

A heterogeneidade espacial da precipitação em diferentes regiões climáticas é comprovada por Keller Filho, Assad e Lima (2005) que identificaram seis grandes aglomerações pluviais em todo o Brasil, onde a precipitação pluvial média ao longo do ano apresenta um grande contraste entre as áreas homogêneas. Isso é esperado em estudos em grandes extensões, pois a precipitação é bastante influenciada por fatores físico-geográficos, como posição, extensão latitudinal e relevo.

O agrupamento entre localidades de diferentes regiões climáticas também foi encontrado por Souza et al. (1992) no estado de Alagoas. Segundo esses autores as localidades do litoral e do agreste ficaram em um mesmo grupo e localidades do agreste e sertão em outro devido às características microclimáticas locais, podendo ser consideradas exceções.

Assim como os resultados obtidos pela FDPG, a análise multivariada comprova a heterogeneidade espacial na distribuição da precipitação, indicando que os eventos de precipitação no estado de Rondônia são influenciados por fenômenos locais.

Figura 20 – Dendrograma da análise de agrupamento das diferentes localidades do estado de Rondônia com características pluviométricas semelhantes

Além da análise de Agrupamento Pareado não Ponderado Baseado na Média Aritmética – UPGMA, também foram utilizados gráficos de “*Biplot*” pela análise de componentes principais para verificar a determinação das médias de precipitação de cada mês nos agrupamentos das localidades consideradas semelhantes. Na Figura 21 são observadas as localidades representadas pelas linhas coloridas e os meses representados pelos pontos azuis, sendo que os respectivos números dentro dos pontos azuis correspondem aos meses do ano de janeiro (1) até dezembro (12).

Dessa forma é possível observar que a média de precipitação do mês de outubro foi determinante para o agrupamento das seguintes localidades: Pimenteiras, Mineração Massangana, Rolim de Moura, Pedras Negras, Colorado d’Oeste, Vista Alegre, Cerejeiras, Fazenda Rio Branco e Abunã. Os meses de novembro e dezembro apresentaram fortes características que fizeram com que as seguintes localidades se agrupassem: Fazenda Flor do Campo, Marco Rondon, Mineração Oriente Novo, Tabajara e Ouro Preto d’Oeste. De acordo com as características de fevereiro foi possível identificar como semelhantes as localidades de Jarú e Porto Velho e segundo as características do mês de abril as seguintes localidades foram agrupadas: Pimenta Bueno, Seringal, Mineração Jacundá, Ariquemes, Santo Antônio, Guajará Mirim, Nova Califórnia, Fazenda Expansão, Pedreiras e Mirante da Serra. Dentre todas as localidades analisadas pelo gráfico de “*Biplot*”, a localidade Escola Caramurú ficou isolada pelas características pluviométricas particulares do mês de janeiro.

Para a identificação dos meses com características pluviométricas semelhante foram utilizados o método da média (UPGMA) e o gráfico de “*Biplot*” obtido pela análise de componentes principais para a identificação dos meses com regime de chuva semelhante. Na Figura 22 é possível verificar as localidades com características pluviométricas que mais contribuíram para o agrupamento dos meses semelhantes. As localidades de Ariquemes, Fazenda Rio Branco e Mineração Oriente Novo foram as que mais contribuíram para o agrupamento dos três últimos meses do ano e os três primeiros em um único grupo.

Figura 21 – Gráfico de “Biplot” obtido pela análise de componentes principais da precipitação em diferentes localidades do estado de Rondônia

Figura 22 – Gráfico de “Biplot” obtido pela análise de componentes principais da precipitação do estado de Rondônia em diferentes meses

As localidades de Santo Antônio e Mineração Massangana foram as mais importantes para que o mês de outubro ficasse isolado. No agrupamento dos meses de abril e maio, as características predominantes foram das localidades: Tabajara, Escola Caramurú e Porto Velho. Finalmente, em um único grupo estão os meses: junho, julho e agosto e a localidade mais importante para esse agrupamento foi Nova Califórnia.

Assim como na análise pela distribuição gama, o agrupamento pelo método da média (UPGMA) permitiu reunir os meses em quatro grupos distintos. No primeiro grupo estão os meses considerados mais chuvosos: dezembro, janeiro, fevereiro e março; no segundo grupo, abril, outubro e novembro que apresentam índices significativos de precipitação; no terceiro grupo maio e setembro, que são considerados de transição entre a estação seca e chuvosa e no quarto grupo estão os três meses mais secos do ano, junho, julho e agosto (FERNANDES; PEDROSO, 2003). Entre todos os meses, os considerados mais semelhantes são junho e agosto, em seguida julho se une a esse grupo e em seguida maio e setembro em níveis de semelhança, mesmo pertencendo a grupos diferentes. Os meses mais distintos são os do grupo quatro, junho, julho e agosto, contra os meses do grupo dois, abril, outubro e novembro (Figura 23).

Lyra et al. (2006) identificaram três grandes grupos homogêneos para a chuva mensal em Táchira, Venezuela, seco, úmido e de transição. Em Rondônia também foram identificados esses grupos, além de um outro formado por meses bastante chuvosos (novembro, outubro e abril). Apesar de Rondônia e Táchira apresentarem distribuição sazonal da precipitação diferente, os agrupamentos coincidiram com a sazonalidade da precipitação de cada um dos Estados.

De maneira geral, tanto a FDPG quanto as análises de Agrupamento Pareado não Ponderado Baseado na Média Aritmética – UPGMA e os gráficos de “*Biplot*” obtidos pela análise de componentes principais, mostraram uma diferença espacial entre as localidades no regime pluviométrico do Estado principalmente nos meses chuvosos, enquanto que nos meses considerados secos os métodos mostraram maior similaridade espacial no regime pluviométrico.

Esses resultados mostram que independente da forma como é analisada a distribuição da precipitação, seja ela em uma escala mais detalhada como foi realizada pela FDPG ou uma comparação mais geral como foi feita pelas análises de agrupamento pelo método da média (UPFMA) ou a determinação da importância de cada mês ou localidade nos agrupamentos, conforme feito pelos gráficos de “*Biplot*”, a heterogeneidade espacial na distribuição da precipitação nos meses chuvosos pode ser comprovada.

Figura 23 – Dendrograma de análise de agrupamento dos meses com características pluviométricas semelhantes no estado de Rondônia

4.5 Teste de tendência Mann-Kendall

As 27 séries de precipitação dos postos pluviométricos localizados em Rondônia foram amplamente estudadas em escala espacial, permitindo a análises da distribuição e variações no regime pluviométrico nessa escala. Além disso, foi realizado um estudo em escala temporal com a finalidade de identificar possíveis tendências de mudanças no regime de precipitação em Rondônia, sejam elas para o aumento ou diminuição dos totais mensais de chuva. As séries de temperatura máxima e mínima das localidades de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho também foram analisadas para que possíveis tendências fossem identificadas.

A análise de tendência foi realizada pelo uso do teste sequencial de Mann-Kendall, que permite identificar além de tendências, o ano em que essas mudanças possam estar ocorrendo. Os testes foram realizados para todas as localidades estudadas em cada mês, para os totais anuais de chuva, e para os totais de chuva nos seguintes meses: dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); março, abril e maio (MAM); junho, julho, agosto (JJA); setembro, outubro e novembro (SON). As séries de temperatura foram analisadas em cada mês e nos mesmos trimestres, conforme as séries de precipitação. Assim, foi possível verificar a ocorrência de mudanças no regime, tanto de chuva quanto de temperatura em cada mês, como também nos trimestres mais chuvosos e mais secos.

As tendências foram consideradas significativas quando a estatística sequencial realizada de forma progressiva, $u(t)$, na série foi superior ao intervalo de confiança de 1,96, seja na escala positiva, indicando um aumento da precipitação ou da temperatura, ou na escala negativa indicando a diminuição do regime de precipitação ou dos valores de temperatura máxima e mínima. Em algumas séries foi possível identificar o ano em que essa mudança estava ocorrendo pelo intercepto entre a estatística progressiva $u(t)$ e retrogressiva $u^*(t)$ das séries dentro do intervalo de confiança.

Em todas as séries de precipitação do estado de Rondônia, com exceção da localidade de Abunã, foi verificado algum indício de tendência, em alguns meses para o aumento da precipitação, porém em outros para a diminuição. De forma geral, essas tendências foram detectadas apenas em pequenos períodos e logo em seguida voltaram a se estabilizar, não indicando uma mudança sistemática e contínua tanto de aumento quanto de diminuição dos valores de precipitação.

Na Tabela 11 são apresentados os períodos onde foram identificados indícios de aumento ou diminuição dos valores de precipitação pelos testes de Mann-Kandall. Esses dados mostram uma grande variação entre as localidades e os meses, o que dificulta comprovar se está ocorrendo aumento ou diminuição dessa variável no Estado. Como não são verificados períodos contínuos de tendência, essas variações entre o aumento ou diminuição da precipitação podem ser consideradas apenas como pequenas flutuações da precipitação em curtos períodos de tempo e não como uma mudança no regime de precipitação (BACK, 2001).

Tabela 11 – Períodos das séries de Rondônia que apresentaram tendências nos valores de precipitação. (+) Aumento da precipitação. (-) Diminuição da precipitação

Localidade	Meses												Ano	Trimestres			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		DJF	MAM	JJA	SON
Abunã																	
Ariquemes		-		-	-				+			-	-	-	-		
Cerejeiras	+			+	-								+	+	-		
Colorado	+	+									+		+	+			
E. Caramurú	-	-		+		-	+			-							
F. Expansão			-														
F. F. Campo				-						-							
F. Rio Banco	-			-			+				-		-		-		-
Guaj. Mirim	-	-	-		-			-		-	-	-	-	-	-		-
Jarú	-			+										-		+	
M. Rondon					-			+	-				-	-	-		
Min. Jacundá	-																
Min. O Novo	-	+					+						+			-	
Massangana	-			-	-						-		-	-	-		-
Mir. da Serra									+		-						
N. Califórnia			-		-				-								
P. Negras	-			-					-				-	-	-		-
Pedreiras			+						-			-	-				-
P. Bueno			+		-		+			+				+			
Pimenteiras		+							+	+			+	+			+
R. de Moura		+							+	-			+	+	+		
Sto Antônio											+	-		-			
Seringal	-					+		-		-		-	-	-	-		-
Tabajara		-	-	-					-		-		-	-	-		-
Vista Alegre	+			-									+				
Ouro Preto	-			-			+						-		-		
Porto Velho	+			-				+	+		+				-	-	

As localidades que apresentaram a maior quantidade de períodos com valores positivos para o aumento da precipitação, foram as situadas mais ao sul do Estado, como Cerejeiras, Colorado d'Oeste, Pimenta Bueno, Pimenteiras e Rolim de Moura. Sendo que as localidades que apresentaram maior quantidade de períodos com tendência de diminuição da precipitação foram aqueles localizados ao norte e nordeste do Estado, como Ariquemes, Fazenda Rio Branco, Guajará Mirim, Mineração Massangana, Pedreiras e Tabajara.

Na Figura 24 são apresentadas as estatísticas progressiva $u(t)$ e retrogressiva $u^*(t)$ de algumas localidades onde é possível identificar o ponto onde começaram a ocorrer as mudanças. Na localidade de Ariquemes a precipitação no mês de fevereiro primeiro apresentou uma tendência de aumento em 1987 e em 1996, aproximadamente 10 anos depois, apresentou uma tendência de diminuição; em Colorado d'Oeste, ao contrário de Ariquemes, é observada tendência de diminuição da precipitação no mês de fevereiro do ano de 1986 que volta a se estabilizar em 1996. As localidades de Marco Rondon e Pedreiras apresentam tendência de aumento da precipitação no mês de setembro dos anos de 1989 e 1997, respectivamente, enquanto que Pimenteiras no mês de outubro e Tabajara para o total anual apresentam tendências de diminuição da precipitação no ano de 1997 e 1989, respectivamente.

Nessas localidades onde foi possível identificar o ano onde estava ocorrendo possível mudança, assim como nas demais localidades avaliadas pelo teste de Mann-Kendall, a precipitação pode ter sido influenciada pelos eventos de El Niño de 1982-1983 e 1997-1998 e La Niña de 1988-1989 e 1999. Conforme verificado por Santos et al. (2006) os fenômenos de El Niño foram os responsáveis por anomalias negativas no estado do Amazonas, enquanto que o La Niña provocou anomalias positivas nesse período. Isso reforça a idéia de que as tendências detectadas nas séries de precipitação sejam apenas oscilações de causa natural do clima, não necessariamente associada a uma mudança definitiva nos padrões de precipitação (BACK, 2001).

Assim como em Rondônia, estudos utilizando séries de dados pluviométricos também identificaram tendências de mudança no regime de precipitação em algum mês e em algumas localidades, porém esses resultados não são interpretados como mudanças no regime pluviométrico, principalmente pela extensão das séries de dados (FOLHES; FISCH, 2006; SILVA; CORREIA; COELHO-ZANOTTI, 1998).

Apesar da variabilidade nos resultados dos testes de tendência, indicando alguns meses com tendência de aumento e outros de diminuição da precipitação, as localidades situadas ao sul e sudeste do Estado foram as que mais apresentaram meses com tendência de aumento.

Entre as localidades que apresentaram tendência de aumento, Cerejeiras, Colorado d'Oeste e Pimenteiras, estão inseridas em uma região do estado de Rondônia conhecida como Cone Sul, onde se encontram sete municípios: Vilhena, Cabixi, Cerejeiras, Chupinguaia, Corumbiara, Colorado d'Oeste e Pimenteiras. Essa é uma região que tem passado por significativas mudanças no uso da terra com os avanços das lavouras de soja, que transformaram-na atualmente na principal área de cultivos de grão do Estado com os maiores índices de produtividades do país, $3.141 \text{ kg. ha}^{-1}$ (IBGE, 2009).

Associados às mudanças no uso da terra nessa região, estão os elevados índices de desmatamento, que em Cerejeiras é de aproximadamente 30% de toda a sua área, Colorado d'Oeste já chega a 82% e em Pimenteiras 20%. Vale ressaltar que o desmatamento em Pimenteiras parece ser menor, pois esse município apresenta uma área de $6228,9 \text{ km}^2$, sendo muito maior que o município de Colorado d'Oeste e Cerejeiras que tem área de $1442,4 \text{ km}^2$ e $789,5 \text{ km}^2$, respectivamente. As demais regiões que apresentaram algum tipo de mudança no regime pluviométrico também apresentam grandes extensões de desmatamento.

Esses resultados mostram, que independente do mês no qual esteja ocorrendo tendência de mudanças no regime pluviométrico, essas três localidades estão inseridas em uma região que nos últimos tempos tem passado por significativas mudanças no uso da terra, sendo necessário um acompanhamento a longo prazo dos dados pluviométricos para que essa tendência seja confirmada. Além disso, é importante um maior detalhamento nesse tipo de estudo para confirmar se toda essa região está passando por um processo de mudança, pois só foram detectados indícios de aumento da precipitação em Cerejeiras, Colorado d'Oeste e Pimenteiras, enquanto que na outra localidade analisada do Cone Sul (Fazenda Expansão - Chupinguaia) não foram detectados indícios de aumento da precipitação.

Figura 24 – Tendência seqüencial de mudança no regime de precipitação nas localidades de Ariquemes, Colorado d'Oeste, Marco Rondon, Pedreiras, Pimenteiras e Tabajara

Nas séries de temperatura máxima e mínima, foram verificadas tendência nas duas localidades que dispunham desses dados, Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste, sendo que a

localidade de Porto Velho foi a que apresentou o maior intervalo de períodos com tendência, principalmente de aumento da temperatura mínima e diminuição da temperatura máxima, ao passo que em Ouro Preto d'Oeste foi verificado que tanto a temperatura máxima quanto a mínima estão aumentando. (Tabela 12).

Tabela 12 – Períodos das séries de temperatura máxima e mínima de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho que apresentaram tendências. (+) Aumento da temperatura. (-) Diminuição da temperatura

Períodos		Ouro Preto (Max)	Ouro Preto (Min)	Porto Velho (Max)	Porto Velho (Min)
Meses	Jan			+	+
	Fev	-			+
	Mar			-	+
	Abr			-	+
	Mai			-	+
	Jun		-	-	+
	Jul	+		-	+
	Ago			-	
	Set	+		-	
	Out		+	-	+
	Nov	-		-	+
	Dez	+		+	+
Ano		+	+	-	+
Trim.	DJF			-	+
	MAM			-	+
	JJA	+	+	-	
	SON		+	-	+

Na Figura 25 pode ser observado os gráficos de tendência da temperatura mínima da localidade de Porto Velho, em alguns meses que apresentaram tendências significativas de aumento. Para quase todos os meses é verificado através da estatística progressiva das séries $u(t)$ que a temperatura mínima, na década de 60 encontrava-se em níveis menores e que a partir da década de 70 é observado uma tendência crescente que atinge níveis significativos a partir de 2000. Apesar desse crescimento constante observado nas séries de temperatura mínima de Porto Velho, essa tendência não pode ser considerada como uma mudança no clima, pois essa condição deveria ser encontrada nas séries de temperatura de Ouro Preto d'Oeste, que estaria submetida às mesmas mudanças climáticas da região.

Figura 25 – Tendência sequencial de mudança nas temperaturas mínimas na localidade de Porto Velho

Nas séries de temperatura de Porto Velho também foi possível detectar o ano em que começou a ocorrer tendência de aumento da temperatura mínima por meio do intercepto entre a estatística $u(t)$ e $u^*(t)$. No mês de janeiro a tendência é significativa a partir do ano de 1993; em fevereiro e março, no ano de 1997; em maio, no ano de 1984; em junho, 1981; outubro, 1985; novembro 1995; e na média anual, 1991. Esse aumento da temperatura detectado em anos diferentes para cada um dos períodos analisados, indica que não há determinado ano que mais contribuiu para as mudanças na temperatura, e que elas vem ocorrendo desde a década de 80.

Em estudos como esse, para que a ocorrência de tendência nas séries de precipitação ou temperatura seja considerada como uma mudança climática, ela deve ocorrer em mais de uma localidade ao mesmo tempo, caso contrário, esse resultado é considerado um caso isolado provocado por efeitos locais, ou pela variabilidade natural do clima.

Silveira, Gan e Galbete (2007) detectaram tendências de aumento da temperatura mínima na localidade de Catanduva, SP, em todas as estações do ano, o que indica que essa localidade, assim como Porto Velho, RO, podem estar passando por mudanças nos índices de temperatura mínima, porém tais resultados não são encontrados estudando séries de precipitação de outras localidades próximas, o que indica que essas mudanças são locais, não podendo ser interpretadas como mudanças do clima.

Estudando a série de temperatura de Campinas, SP, Blain et al. (2007) detectaram um aumento da temperatura média mínima da ordem de 2°C nos últimos 10 anos, o que se deve principalmente à intensificação da ação antropogênica. Apesar de Porto Velho não apresentar uma série tão extensa que possa comparar os indícios de aumento da temperatura a partir da década de 70 com períodos anteriores, essa é uma localidade que também tem passado por significativas mudanças, podendo o aumento da temperatura mínima ser explicado, assim como em Campinas, pelas ações antropogênicas que favorecem ao efeito estufa e altera o balanço de ondas longas, que restringe a perda de calor pela atmosfera, afetando principalmente a temperatura mínima.

É importante considerar que as séries tanto de precipitação quanto temperatura utilizadas nesse estudo são relativamente curtas para esse tipo de investigação, pois compreendem um total de no máximo 30 anos de dados para as séries de precipitação e 42 anos para a série de temperatura de Porto Velho, quando para esse tipo de estudo são necessárias séries suficientemente longas que permitam caracterizar a ocorrência de ciclos climáticos.

Os resultados obtidos com a análise de tendência não suportam a hipótese de que esteja havendo mudança no regime de chuva e temperatura nas localidades estudadas, e que as tendências detectadas pelos testes devem ser consideradas como oscilações naturais do clima, de modo que em princípio pode-se inferir que a mudança do uso do solo que envolve o desmatamento, tem tido um pequeno efeito local. Entretanto, são necessários estudos adicionais, com uso de séries climatológicas mais longas, somente possíveis de serem formadas com o passar dos anos, para que se possa concluir se a mudança do uso da terra é um dos fatores que está tendo efeito significativo sobre o regime de chuvas e na temperatura do Estado.

Como vários estudos realizados na Amazônia indicam, os índices de desmatamento ainda não são suficientes para que mudanças climáticas no estado de Rondônia sejam verificadas (ALVES; FISCH; VENDRAME, 1999; BEZERRA; TRINDADE, 2006). Por enquanto, no Estado são identificadas variações no regime de chuva e uma mudança local na temperatura mínima de Porto Velho, mas não tendências de aumento ou diminuição que apontem para uma mudança regional.

Apesar do estudo realizado não indicar tendências de mudanças acentuadas do regime de chuvas e na temperatura em Rondônia, os dados históricos do desmatamento que vem ocorrendo nos últimos 30 anos, alertam para o fato que em um futuro muito próximo as alterações da cobertura florestal poderão favorecer as mudanças regionais do clima podendo ser comprovadas por meio de estudos nas séries de dados meteorológicos.

4.6 Balanço Hídrico de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho

O balanço hídrico pode ser calculado em diferentes escalas de tempo, com a finalidade de quantificar a água disponível para o pleno desenvolvimento das plantas, como também para quantificar a variação de disponibilidade hídrica de uma região com finalidades ambientais, hidrológicas e climatológicas.

Esse método foi aplicado apenas em Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste, pois eram as únicas localidades do Estado que dispunham de dados de temperatura, necessários para as estimativas da evapotranspiração potencial (ETP).

Nessas localidades foram calculados os balanços hídricos médio e sequencial, na escala decendial. As duas localidades foram comparadas quanto aos níveis de excedente e déficit hídrico, evapotranspiração potencial e real e, também, quanto às condições de temperatura e pluviosidade.

O município de Porto Velho está localizado ao norte do município de Ouro Preto d'Oeste, a uma distância de aproximadamente 330 Km. Os dois municípios apresentam diferenças nos índices anuais de precipitação e temperatura do ar. Porto Velho apresenta temperatura média anual de 26,1°C, enquanto Ouro Preto d'Oeste apresenta 24,2°C, ou seja, aproximadamente 2°C a menos que Porto Velho. Essa diferença de temperatura pode ser explicada pela altitude das duas localidades, Ouro Preto d'Oeste está a aproximadamente 280 m de altitude, enquanto que Porto Velho está a 95 m, o que justifica boa parte dos quase 2°C a mais de temperatura em Porto Velho. Quanto aos índices pluviométricos anuais, Ouro Preto d'Oeste também apresenta valores menores que Porto Velho sendo, respectivamente, de 1897,5 mm e 2149,9 mm.

Para essas localidades que tem passado por significativas mudanças na cobertura vegetal do solo, primeiro com o desmatamento que hoje chega a aproximadamente 20,2% em Porto Velho e 87,6% em Ouro Preto d'Oeste (SEDAM, 2007), em seguida com a implantação de pastagens e culturas, fica difícil adotar uma CAD que seja representativa das condições médias da cobertura vegetal de cada localidade.

Assim, pela heterogeneidade da cobertura vegetal nas duas localidades, que apresentam desde árvores de grande porte como os remanescentes de floresta, com raízes profundas, até gramíneas e culturas agrícolas com o sistema radicular mais próximo à superfície, o balanço hídrico foi calculado com CADs variáveis, 75 mm, 100 mm e 150 mm, para que fosse possível identificar mudanças nas variáveis dele decorrentes, mesmo em diferentes condições de cobertura do solo.

Conforme os valores apresentados na Tabela 13, observa-se que Porto Velho apresenta maior valor de evapotranspiração potencial anual, principalmente pela maior demanda evaporativa em função dos valores de temperatura e, conseqüentemente, maior evapotranspiração real, pela maior disponibilidade hídrica devido aos índices pluviométricos mais elevados. Essas diferenças representam aproximadamente 300 mm a mais para a ETP e 200 mm para a ETR, considerando uma CAD de 150 mm.

O valor anual médio de déficit hídrico é maior em Porto Velho (294,8 mm) do que em Ouro Preto d'Oeste (219,5 mm), enquanto que os valores anuais de excedente hídrico não são muito diferentes (868,4 mm em Porto Velho, contra 846,1 mm em Ouro Preto d'Oeste). A principal diferença das condições hídricas nessas duas localidades foi quanto ao período de ocorrência de déficit hídrico (Tabelas 12 e 13).

Tabela 13 – Balanço hídrico médio de Porto Velho (1978 – 2007) para CAD de 150 mm

Meses	T	P	ETP	P - ETP	ETR	Neg-Ac	ARM	ALT	DEF	EXC
Jan1	25,0	103,7	38,06	65,6	38,1	0,0	150,0	0,0	0,0	65,6
Jan2	24,9	103,7	37,15	66,5	37,1	0,0	150,0	0,0	0,0	66,5
Jan3	24,9	117,9	40,60	77,3	40,6	0,0	150,0	0,0	0,0	77,3
Fev1	24,8	113,0	36,63	76,3	36,6	0,0	150,0	0,0	0,0	76,3
Fev2	24,8	119,9	36,44	83,4	36,4	0,0	150,0	0,0	0,0	83,4
Fev3	24,9	83,8	29,16	54,6	29,2	0,0	150,0	0,0	0,0	54,6
Mar1	24,9	91,9	36,49	55,4	36,5	0,0	150,0	0,0	0,0	55,4
Mar2	24,9	86,7	36,26	50,5	36,3	0,0	150,0	0,0	0,0	50,5
Mar3	25,0	84,2	40,29	43,9	40,3	0,0	150,0	0,0	0,0	43,9
Abr1	25,2	73,6	36,97	36,7	37,0	0,0	150,0	0,0	0,0	36,7
Abr2	25,2	69,4	36,73	32,6	36,7	0,0	150,0	0,0	0,0	32,6
Abr3	25,2	61,4	36,67	24,7	36,7	0,0	150,0	0,0	0,0	24,7
Mai1	25,2	49,0	36,63	12,3	36,6	0,0	150,0	0,0	0,0	12,3
Mai2	25,2	49,7	36,43	13,3	36,4	0,0	150,0	0,0	0,0	13,3
Mai3	25,7	25,5	42,53	-17,0	41,6	-17,0	133,9	-16,1	0,9	0,0
Jun1	26,1	15,9	41,01	-25,1	36,5	-42,2	113,2	-20,6	4,5	0,0
Jun2	26,1	13,2	40,92	-27,7	32,3	-69,9	94,1	-19,1	8,6	0,0
Jun3	26,8	11,1	44,76	-33,7	30,0	-103,5	75,2	-18,9	14,7	0,0
Jul1	27,4	5,9	48,93	-43,0	24,7	-146,5	56,5	-18,7	24,2	0,0
Jul2	27,4	7,7	49,03	-41,4	21,3	-187,9	42,9	-13,6	27,7	0,0
Jul3	28,2	8,0	59,42	-51,5	20,4	-239,3	30,4	-12,4	39,0	0,0
Ago1	28,9	8,3	59,47	-51,1	17,1	-290,5	21,6	-8,8	42,4	0,0
Ago2	28,9	11,9	59,79	-47,8	17,8	-338,3	15,7	-5,9	41,9	0,0
Ago3	28,5	23,1	62,79	-39,7	26,8	-378,0	12,1	-3,7	36,0	0,0
Set1	28,1	27,2	54,52	-27,4	29,2	-405,4	10,1	-2,0	25,4	0,0
Set2	28,1	32,5	54,88	-22,4	33,8	-427,8	8,7	-1,4	21,0	0,0
Set3	27,5	42,7	51,56	-8,9	43,2	-436,7	8,2	-0,5	8,4	0,0
Out1	27,0	58,5	48,38	10,2	48,4	-315,4	18,3	10,2	0,0	0,0
Out2	27,0	59,1	48,69	10,5	48,7	-247,7	28,8	10,5	0,0	0,0
Out3	26,4	63,1	49,90	13,2	49,9	-191,0	42,0	13,2	0,0	0,0
Nov1	25,9	65,7	42,20	23,5	42,2	-124,4	65,5	23,5	0,0	0,0
Nov2	25,9	62,9	42,41	20,5	42,4	-83,5	86,0	20,5	0,0	0,0
Nov3	25,5	78,3	40,68	37,6	40,7	-29,0	123,6	37,6	0,0	0,0
Dez1	25,2	120,2	38,96	81,2	39,0	0,0	150,0	26,4	0,0	54,8
Dez2	25,2	95,2	39,03	56,2	39,0	0,0	150,0	0,0	0,0	56,2
Dez3	25,1	106,3	41,96	64,3	42,0	0,0	150,0	0,0	0,0	64,3
Ano	26,1	2149,9	1576,3	573,6	1281,5				294,8	868,4

Em Porto Velho o período de déficit hídrico se concentra desde o último decêndio do mês de maio até o final de setembro, sendo no total um período de 4 meses, enquanto que em Ouro Preto d'Oeste ele se estende desde o segundo decêndio do mês de maio até o segundo decêndio do mês de outubro, o que representa um período mais longo com disponibilidade hídrica reduzida, apesar do déficit hídrico ter uma menor intensidade que em Porto Velho.

Tabela 14 – Balanço hídrico médio de Ouro Preto d'Oeste (1982 – 2007) para CAD de 150 mm

Meses	T	P	ETP	P - ETP	ETR	Neg-Ac	ARM	ALT	DEF	EXC
Jan1	22,3	85,4	28,48	56,9	28,5	0,0	150,0	0,0	0,0	56,9
Jan2	22,9	96,3	30,69	65,6	30,7	0,0	150,0	0,0	0,0	65,6
Jan3	23,3	100,4	35,15	65,2	35,1	0,0	150,0	0,0	0,0	65,2
Fev1	22,8	91,2	30,02	61,2	30,0	0,0	150,0	0,0	0,0	61,2
Fev2	22,8	108,0	29,55	78,4	29,6	0,0	150,0	0,0	0,0	78,4
Fev3	23,4	77,2	25,46	51,7	25,5	0,0	150,0	0,0	0,0	51,7
Mar1	23,1	100,8	30,53	70,3	30,5	0,0	150,0	0,0	0,0	70,3
Mar2	22,9	87,8	29,57	58,2	29,6	0,0	150,0	0,0	0,0	58,2
Mar3	23,1	81,4	33,08	48,3	33,1	0,0	150,0	0,0	0,0	48,3
Abr1	23,7	75,8	31,98	43,8	32,0	0,0	150,0	0,0	0,0	43,8
Abr2	23,3	58,1	30,10	27,9	30,1	0,0	150,0	0,0	0,0	27,9
Abr3	23,6	52,0	31,36	20,6	31,4	0,0	150,0	0,0	0,0	20,6
Mai1	23,2	25,8	29,56	-3,8	29,5	-3,8	146,2	-3,8	0,0	0,0
Mai2	24,0	24,5	32,58	-8,1	32,2	-11,9	138,6	-7,7	0,4	0,0
Mai3	23,4	22,4	32,98	-10,6	31,8	-22,5	129,1	-9,5	1,1	0,0
Jun1	23,9	9,5	31,44	-21,9	27,1	-44,4	111,6	-17,5	4,4	0,0
Jun2	23,9	1,9	31,58	-29,7	21,9	-74,1	91,5	-20,0	9,7	0,0
Jun3	24,7	7,5	34,80	-27,3	22,7	-101,4	76,3	-15,2	12,1	0,0
Jul1	25,1	5,0	36,76	-31,7	19,6	-133,1	61,7	-14,6	17,2	0,0
Jul2	25,5	1,6	38,70	-37,1	15,1	-170,2	48,2	-13,5	23,6	0,0
Jul3	26,4	3,1	47,25	-44,1	15,4	-214,4	35,9	-12,3	31,8	0,0
Ago1	26,6	6,0	44,07	-38,1	14,0	-252,5	27,9	-8,1	30,1	0,0
Ago2	26,8	11,4	45,70	-34,3	17,1	-286,7	22,2	-5,7	28,6	0,0
Ago3	26,6	16,7	49,38	-32,7	21,1	-319,4	17,8	-4,3	28,3	0,0
Set1	26,1	22,1	42,89	-20,8	24,4	-340,2	15,5	-2,3	18,5	0,0
Set2	25,2	33,6	38,86	-5,3	34,1	-345,5	15,0	-0,5	4,7	0,0
Set3	25,6	34,8	41,24	-6,5	35,4	-351,9	14,4	-0,6	5,8	0,0
Out1	25,4	47,7	40,48	7,2	40,5	-291,0	21,6	7,2	0,0	0,0
Out2	25,3	36,4	40,11	-3,8	36,9	-294,8	21,0	-0,5	3,2	0,0
Out3	24,6	70,3	40,87	29,5	40,9	-163,4	50,5	29,5	0,0	0,0
Nov1	24,2	81,6	35,65	46,0	35,7	-66,2	96,5	46,0	0,0	0,0
Nov2	24,2	52,5	35,96	16,5	36,0	-42,5	113,0	16,5	0,0	0,0
Nov3	23,8	82,5	34,31	48,2	34,3	0,0	150,0	37,0	0,0	11,2
Dez1	23,3	89,3	32,28	57,0	32,3	0,0	150,0	0,0	0,0	57,0
Dez2	23,4	87,4	32,70	54,7	32,7	0,0	150,0	0,0	0,0	54,7
Dez3	23,1	109,7	34,79	74,9	34,8	0,0	150,0	0,0	0,0	74,9
Ano	24,2	1897,5	1270,9	626,6	1051,4				219,5	846,1

O excedente hídrico nos dois municípios também se concentra em um período com diferenças de decêndios. Em Porto Velho ocorre, em média, desde o mês de dezembro até o segundo decêndio do mês de maio enquanto que em Ouro Preto d'Oeste esse período começa um pouco antes, no último decêndio do mês de novembro e termina no mês de abril (SCERNE, et al., 2000).

Os balanços hídricos médio e seqüencial também foram calculados para as CADs de 75 mm e 100 mm. Como mostra a Figura 26 do extrato do balanço hídrico normal com os três valores de CADs (75 mm, 100 mm e 150 mm) nas duas localidades não são observadas diferenças quanto aos meses de ocorrência do excedente e déficit hídrico. A variação da CAD altera principalmente a intensidade da deficiência hídrica e do excedente hídrico.

Figura 26 – Extrato do balanço hídrico climatológico médio para Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste para as CADs de 75 mm, 100 mm e 150 mm

Conforme se aumenta a CAD, os valores de déficit hídrico diminuem e os valores de excedente hídrico aumentam. Entre as CADs adotadas, o déficit hídrico e o excedente hídrico variam aproximadamente 40 mm de uma CAD para outra. Essa variação é significativa principalmente quando se aplica o balanço hídrico com finalidades agrícolas, onde as plantas são sensíveis às mudanças na disponibilidade hídrica. Dessa forma, a determinação da CAD é importante na aplicação do balanço hídrico, seja ele ambiental, hidrológico ou climatológico.

Os resultados do balanço hídrico seqüencial (ETP, ETR, DEF e EXC) foram submetidos ao teste de tendência Mann-Kendal. Os testes foram aplicados para cada uma das variáveis do balanço hídrico nas escalas mensal e anual e também nas médias dos trimestres: DJF; MAM; JJA; SON, calculados com CAD de 150 mm, considerando não haver grandes diferenças entre uma CAD e outra que possam ocasionar tendências nas variáveis do balanço hídrico. Para todos os parâmetros analisados, ETP, ETR, DEF e EXC, foram identificadas tendências, sendo que a ETP foi a que apresentou maiores indícios de aumento em praticamente todos os meses nas duas localidades analisadas (Tabela 15).

Tabela 15 – Tendência dos parâmetros do balanço hídrico, DEF, EXC, ETP e ETR das localidades de Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho. (+) Aumento dos parâmetros. (-) Diminuição dos parâmetros

Períodos		Ouro Preto d'Oeste				Porto Velho			
		DEF	EXC	ETP	ETR	DEF	EXC	ETP	ETR
Meses	Jan	+	-	+	+			+	+
	Fev					-	+	+	+
	Mar	+		+	+	-		+	+
	Abr	+	-	+				+	+
	Mai		+	+				+	+
	Jun	+		+		-		+	
	Jul			+		-		+	+
	Ago			+				+	
	Set				+	+		+	
	Out			+		+	-	+	
	Nov		-	+			-	+	
	Dez			+	+		-	+	+
Ano		+	-	+				+	+
Trim.	DJF	+		+	+			+	+
	MAM		-	+				+	+
	JJA	+		+		+		+	+
	SON			+		+	-	+	

Em Ouro Preto d'Oeste a variável que apresentou maior número de meses com tendência de aumento foi a ETR e a que apresentou menos meses com tendência foi o EXC, assim como em Porto Velho. Os gráficos da média dos trimestres DJF para as variáveis ETR, ETP e DEF, mostram a estatística progressiva $u(t)$ de forma crescente, enquanto que a média anual do EXC hídrico apresenta-se de forma decrescente, mostrando que a disponibilidade hídrica para as plantas tende a diminuir na localidade de Ouro Preto d'Oeste (Figura 27).

Figura 27 – Análise de tendência sequencial do excedente e déficit hídrico da localidade de Ouro Preto d'Oeste para CAD de 150 mm

Em Porto Velho é verificado o aumento da ETR e da ETP anual e da deficiência hídrica no período de SON, enquanto que o EXC hídrico no período de SON apresenta primeiro um indício de diminuição e depois volta a aumentar (Figura 28).

Figura 28 – Análise de tendência sequencial do excedente e déficit hídrico da localidade de Porto Velho para CAD de 150 mm

Esses resultados eram esperados, pois as tendências identificadas nas séries de precipitação das duas localidades e, as tendências detectadas nas séries de temperatura mínima e máxima, poderiam provocar tendências nas variáveis do balanço hídrico.

Na série de Ouro Preto d'Oeste os meses que apresentaram tendência de diminuição da precipitação também indicaram tendência de diminuição do excedente hídrico, enquanto que em Porto Velho essa relação não foi encontrada, a precipitação apresenta tendência de aumento em quase todos os meses enquanto que o excedente hídrico apresenta tendência de diminuição. Isso pode estar ocorrendo devido a tendência de aumento da temperatura máxima e mínima que tem aumentado a demanda evaporativa, fazendo com que o excedente hídrico apresente tendência de diminuição, mesmo com tendência de aumento da precipitação.

5 CONCLUSÕES

O estudo realizado com as séries de dados de precipitação e temperatura juntamente com as informações sobre o desmatamento no Estado de Rondônia possibilitou chegar às seguintes conclusões:

O CLIMGEN pode ser utilizado para o preenchimento de falhas nas séries de dados meteorológicos do estado de Rondônia, pois os dados gerados não diferem dos dados reais;

A análise de “Duplas Massas” identificou duas localidades com dados inconsistentes, mostrando ser importante no tratamento de dados meteorológicos, antes de outros estudos para que eventuais inconsistências sejam identificadas;

Quanto à distribuição gama verificou-se que a estação seca é o período em que a precipitação apresenta maior grau de assimetria na distribuição de probabilidade, enquanto que nos meses mais chuvosos o grau de assimetria é menor. De forma geral, para todas as localidades a distribuição de probabilidade da precipitação é similar no período seco, sendo que na estação chuvosa ocorre semelhanças de distribuição de probabilidade da precipitação entre localidades em diferentes regiões do Estado.

A análise multivariada confirmou a heterogeneidade espacial na distribuição da precipitação, conforme já havia sido indicado pela distribuição gama. Quanto aos meses com características pluviométricas semelhantes, a análise de agrupamento reuniu em um único grupo os meses de junho, julho e agosto como os mais secos; maio e setembro como meses de transição e os meses mais chuvosos em outros dois grupos.

Na análise temporal pelo teste Mann-Kendall foi possível identificar tendências de mudanças no regime pluviométrico de Rondônia no período estudado em praticamente todas as localidades, com exceção de Abunã. As localidades situadas ao sul do Estado foram as que apresentaram maior quantidade de meses com tendência de aumento da precipitação, enquanto que aquelas situadas ao norte e nordeste foram as que apresentaram maiores períodos com tendências de diminuição. Porém, tais resultados não indicam uma mudança climática sistemática, sendo as tendências detectadas consideradas apenas como oscilações naturais do clima.

A análises das séries de temperatura máxima e mínima de Porto Velho e Ouro Preto d'Oeste pelo teste Mann-Kendall, mostrou que as séries de temperatura máxima e mínima de Ouro Preto d'Oeste estão apresentando tendência de aumento, enquanto que a série de temperatura máxima de Porto Velho está apresentando tendência de diminuição, e a de temperatura mínima de aumento;

Porto Velho apresenta maiores valores de ETP e ETR que Ouro Preto d'Oeste devido a maior demanda atmosférica pelos valores de temperatura que em Porto Velho chega a ser aproximadamente 2°C a mais que Ouro Preto d'Oeste. Porém, apesar da maior demanda atmosférica de Porto Velho, o déficit hídrico foi maior em Ouro Preto d'Oeste, o que pode ser explicado pelos menores índices pluviométricos dessa localidade;

Os testes de Mann-Kendall aplicados nos parâmetros do balanço hídrico sequencial (ETP, ETR, DEF e EXC) identificaram tendências de aumento principalmente na ETP e ETR das duas localidades. O parâmetro EXC hídrico apresentou tendências de aumento em alguns meses e diminuição em outros, e o DEF hídrico apresentou tendência de aumento nas duas localidades.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration** – Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage. Paper 56).
- ALMEIDA NETO, P. de; ESTEVES, R.L.; BORGES, A.C.; MENDIONDO, E.M. Análise dos componentes do balanço hídrico em uma bacia urbana experimental. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 3., 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABRH, 2004. p. 25-43.
- ALVES, F.S.M.; FISCH, G.; VENDRAME, I. F. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 29, n. 3, 395-409, 1999.
- AMARAL, W.A.N.; FERRAZ, S.; SMERALDI, R. Dinâmica da soja, o desmatamento na fronteira da Amazônia. **Democracia viva**, Rio de Janeiro, n. 27, p.114-122, jun.-jul., 2005.
- ANDRADE, A.R. de; BALDO, M.C; NERY, J.T. Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de Santa Catarina. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 21, n. 4, p. 923-928, 1999.
- ARAÚJO, S.M.B. **Estudo da Variabilidade Climática em Regiões Homogêneas de Temperaturas Médias do ar no Rio Grande do Sul**. 2005. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, Pelotas, 2005.
- AZEVEDO, P.V. de; SILVA, B.B. da; ROGRIGUES, M.F.G. Previsão estatística das chuvas de outono no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Jose dos Campos, v. 13, n. 1, p. 19-30, 1998.
- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001.
- BAÚ, L.A.; GOMES, B.M.; QUEIROZ, M.M.F. de; OPAZO, M.A.U; SAMPAIO, S.C. Comportamento espacial da precipitação pluvial mensal provável da mesoregião Oeste do estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 150-168, abril-jun., 2006.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATTO, M.A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D.C.; CUNHA, G.R.; SANTOS, M.L.V.; FARIAS, J.R.B. e BARNI, A.N. **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade/UFGRS, 1999. 125 p.
- BEZERRA, R.B.; TRINDADE, A.G. Caracterização de parâmetros pluviométricos, térmicos do balanço hídrico climatológico e desmatamento de Porto Velho – RO. **Geografia**, Londrina, v. 15, n. 1, p. 65-80, jan./jun., 2006.

BLAIN, G.C.; PIEDADE, S.M. de S.; CAMARGO, M.B.P. de; GIAROLLA, A. Distribuição temporal da precipitação pluvial mensal observada no posto meteorológico do Instituto Agrônomo, em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 347-355, 2007.

BLAIN, G.C.; ROLIM, G.; SENTELHAS, P.C.; LULU, J. Variabilidade temporal da temperatura do ar em Campinas, SP: análise de tendências e mudanças climáticas. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju:CBAGRO, 2007. 1 CD-ROM

BOTELHO, V.A.V.A.; MORAIS, A.R. de. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 697-706, jul./set., 1999.

CAMARGO, A.P. O balanço hídrico no Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 116, 15 p., 1960.

_____. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 63-213, 1962.

_____. O balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. **Boletim do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 116, 24 p, 1971.

CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CAMARGO, A.P. de; MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G.. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPOS, H. de. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4. ed. Piracicaba: Departamento de Matemática e Estatística - ESALQ, 1983. 349p.

CARVALHO, J.R.P.; QUEIROZ, E.F. Uso de cokrigagem colocalizada na determinação da distribuição espacial de precipitação. **EMBRAPA Informática Agropecuária**, Campinas, v. 21, p. 1-4, out. 2002.

CHIBANA, E.Y.; FLUMIGNAN, D.L.; MOTA, R.G.; VIEIRA, A. de S.; FARIA, R.T. de. Estimativa de falhas em dados meteorológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Londrina: SBI-AGRO, 28 a 30 de setembro de 2005. p. 23-34.

COHEN, J.C.P.; BELTRÃO, J. da C.; GANDU, A.W.; SILVA, R.R. da.. A influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 59, n. 3, p. 36-39, jul.-set. 2007.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 95-118, jan.-mar., 2001.

CORREIA, F.W.S.; MANZI, A.O.; CÂNDIDO, L.A.; SANTOS, R.M.N. dos; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 59, n. 3, p. 39-43, jul.-set., 2007.

COSTA, F.G. **Avaliação do potencial de expansão da soja na Amazônia Legal: uma aplicação do modelo de Von Thunen**. 2000. 159 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

D’ALMEIDA, C.; VÖRÖSMARTY, C.J.; MARENGO, J.A.; HURTT, G.C.; DINGMAN, S.L.; KEIM, B.D. A water balance model to study the hydrological response to different scenarios of deforestation in Amazônia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.331, p. 125– 136, 2006.

DALL’OLIO, A.; SALATI, E.; AZEVEDO, C.T.; MATSUI, E. Modelo de fracionamento isotópico da água na bacia Amazônica (Primeira aproximação). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 9, n. 4, p. 675-687, 1979.

D’ANGIOLLELA, G.; VASCONCELLOS, V.L.D.; ROSA, J.W.C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia – Brasil. **Anais...** Goiânia: INPE, 16-21 abril 2005. p. 83-90.

DIEGUES, A.C. **Desmatamento e modos de vida na Amazônia**. São Paulo: NUPAUB, 1999, p.146.

DOURADO NETO, D.; ASSIS, J.P. de; TIMM, L.C.; MANFRON, P.A.; SPAROVEK, G.; MARTIN, T.N. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 13, n. 2, p. 273-283, 2005.

DUARTE, A.F.; CUNHA, R.M. da; LIMA, W. da S. A necessidade de otimização das informações meteorológicas na amazônica ocidental. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 30, p. 21-32, 2006.

ESRI. ArcGIZ version 9.2, Readlands: ESRI, 2007.

EVANGELISTA, A.W.P.; PRUSKI, F.F.; SEDIYAMA, G.C. Avaliação do desempenho do modelo CLIGEN em gerar dados climáticos para modelos hidrológicos e agrônômicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 119–127, 2006.

FBOMS – Grupo de trabalho sobre florestas do fórum brasileiro de ONGs e movimentos sociais para meio ambiente e desenvolvimento. **Relação entre cultivo de soja e desmatamento**. São Paulo, 2005. 11 p.

FEARNSIDE, P.M. Concentração espacial de desmatamento na Amazônia brasileira. Tradução de Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon. **AMBIO**. Suécia, v. 15, n. 2, p. 72-79, 1986.

_____. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, Lausanne, v. 28, n. 1, p.23-38, 2001.

_____. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 113-123, jul 2005.

_____. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FEPAM. **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roesler**. Inventário dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo. Porto Alegre, 2003. 270 p.

FERNANDES, L.C.; PEDROSO, S.C (Coord.). **Atlas Geoambiental de Rondônia**. v. 2. Versão Digital. Porto Velho: SEDAM, 2003. 143p.

FERRAZ, S.F. de B.; CANTEIRO CAPÃO, L.M.S.; VETTORAZZI, C.A. Temporal scale and spatial resolution effects on Amazon Forest fragmentation assessment in Rondônia. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 27, n. 3, p. 459-472, 2006.

FISCH, G.; LEAN, J.; WRIGHT, I.R.; NOBRE, C.A. Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região amazônica: estudo de um caso em Rondônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 12, n. 1, p. 33-48, 1997.

FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudos de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 1, n. 1, p. 61-71, 2006.

GABRIEL, K.R. The Biplot Graphic Display of Matrices with Application to Principal Component Analysis. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.

GALVÃO, J.A. da C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.1-10, 2000.

GENG, S.; PENNING DE VRIES, F.W.T., SUPIT, I. A simple method for generating daily rainfall data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 36, p. 363-376, 1986.

GERSTENGARBE, F.W.; WERNER, P.C. Estimation of the beginning and end of recurrent events within a climate regime. **Climate Research**, Oldendorf, v. 11, p. 97-107, 1999.

GROPPO, J.D.; BEDUSCHI, C.E.; MENUZZO, R.; MORAES, J.M.; MARTINELLI, L.A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

HORIKOSHI, A.S.; FISCH, G. Balanço hídrico e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 2, n. 2, p. 33-46, 2007.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Dados de Produção. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=4&z=t&o=24&u1=11&u2=1&u3=1&u4=11>>. Acesso em: 16 fev. 2009.

JOHNSON, G.J. Weather generator technology. *United States Department of Agriculture* [online], Portland, 2 fev. 2003. Disponível: <<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/water/climate/gem/gem.html>>. Acesso em: 8 dez. 2008.

JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5th. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 767 p.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S. de R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 311-322, abr. 2005.

KLEIDON, A.; HEIMANN, M. Deep-rooted vegetation, Amazonian deforestation, and climate: results from a modeling study. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 8, p. 397-405, 1999.

LINHARES, C. de A. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do rio Ji-Paraná/RO**. 2006. 217 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2006.

LINHARES, C. de A.; SOARES, J.V.; BATISTA, G.T. Influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Ji-Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia – Brasil. **Anais...** Goiânia: INPE, 16-21 abril 2005. p. 3097-3105.

LONGO, A.J; SAMPAIO, S.C.; QUEIROZ, M.M.F. de; SUSZEK, M. Uso das distribuições gama e log-normal na estimativa de precipitação provável quinzenal. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 6, n. 11, p. 107-118, 2006.

LYRA, G.B.; GARCIA, B.I.L.; PIEDADE, S.M. de S.; SEDIYAMA, G.C.; SENTELHAS, P.C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 205-215, fev. 2006.

MARENGO, J.A. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: Ahistorical review and current State-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2006.

MARENGO, J.A.; UVO, C.B. Variabilidade e mudança climática no Brasil e América do Sul. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. edição comemorativa 10 anos, p. on line, 1996. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mudanca.html> Acesso em: 8 mar. 2008.

MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia brasileira. **Banco Mundial**, Brasília, jul., 2003. 100p.

MARTINS, M.B.; PRAXEDES, C. de L.; SANTOS, R.M.; SILVA, A.A.R. da; COSTA, J.E. A Amazônia está mudando. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 239, p. 38-43, jul. 2007.

McKAGUE, K.; RUDRA, R.; OGILVIE, J. Climgen - a convenient weather generation tool for Canadian climate stations. In: CSAE/SCGR, 2003, Montréal, Québec. **Anais...** Montréal, Québec, 6 a 9 de julho de 2003. 48 p.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global: natural ou antropogênico? In: SEMANA DA GEOGRAFIA – SEMAGEO, 28., 2007, Florianópolis (SC). **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2007. p. 26-45.

MOLION, L.C.B.; DALLAROSA, R.L.G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? **Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 5, n. 3, p. 40-42, 1990.

MONTEITH, J.L. Evaporation and environmental. In: The state and movement of water in living organisms. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY OF EXPERIMENTAL BIOLOGY, 19., **Anais...** Swansea: Cambridge University Press, 1965. p. 205-234.

MORAIS, A.R. de; BOTELHO, V.A.V.A.; CARVALHO, L.G. de; MUNIZ, J.A.; LAGE, G. Estimativa da precipitação provável em Lavras (MG) através da distribuição gama. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 305-310, 2001.

NASCIMENTO, J.P.R. do. SIMPREC : Simulador estocástico de dados diários de precipitação pluviométrica. In: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 2000, Ponta Grossa – PR. **Anais...** Ponta Grossa: INFOAGRO, 18 a 20 out. 2000.

NELSON, R. Description of ClimGen, a Weather Generation Program, 2002. Disponível em: <http://www.bsye.wsu.edu/climgen/documentation/description.htm> >. Acesso em: 8 dez. 2008.

NERY, J.T.; FACHINI, M.P.; TANAKA, L.K.; PAIOLA, L.M.; MARTINS, M. de L.O.F.; BARRETO, L.E.G. de S.B.; TANAKA, I. Caracterização das precipitações pluviométricas mensais para os Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 4, p. 515-522, 1998.

NERY, J.T.; VARGAS, W.M.; MARTINS, M. de L.O.F. Caracterização da precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 81-89, 1996.

NICKS, A.D., LANE, L.J.; GANDER, G.A.. In: FLANAGAN, D.C.; NEARING, M.A. (Ed.): **USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model** Documentation. West Lafayette: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 1995. Chapr 2. Weather generator. (NSERL Report # 10.)

NICOLAU, M.R.R.C. **Modelação e mapeamento da distribuição espacial de precipitação uma aplicação a Portugal continental**. 2002. 356 p. Tese (Engenharia do Ambiente) - Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2002. Disponível em: <http://www.igeo.pt/teses/rita%20nicolau/capa_tese.htm>. Acesso em: 24 nov. 2008.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 59, n. 3, p. 22-27, jul.-set., 2007.

OLIVEIRA, V.P.S. **Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação**. 2003. 156 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

PELLEGRINO, G.Q. **Análise espaço-temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba**. 1995. 117p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

PELLEGRINO, G.Q.; MORAES, J.M. de; GUANDIQUE, M.E.G.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; MARTINELLI, L.A. Análise espaço-temporal de componentes hidroclimáticos na bacia do rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 125-135, 2001.

PENMAN, H.I. Evaporation: an introductory survey. Netherlands. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 4, p. 9-29, 1956.

PEREIRA, A.R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, C.A.; VIEIRA, I.C.G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, Caracas, v. 26, n.8, p. 337-341, ago., 2001.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PINHEIRO, K.S.F.; SOUZA, C.J. da S. de; MENEZES, R.H.N. de. Caracterização espaço-temporal da precipitação efetiva e do índice de aridez na bacia hidrográfica do Riacho da Boa Hora, Urbano Santos-MA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 16-21 abril 2005. p. 2535-2542.

PORTAL AMAZÔNIA. Rondônia, aspectos históricos e geográficos. Disponível em: http://portalamazonia.globo.com/artigo_amazonia_az.php?idAz=365. Acesso em: 15 mar. 2008.

PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. de; SILVA, D.D. da S.; RAMOS, M.M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 247-253, 2004.

REIS, E.J.; MARGULIS, S. **Perspectivas econômicas do desflorestamento da Amazônia** – Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, Maio de 1991. 240 p. (Texto para discussão, 215).

RESCHKE, G. de A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Ji-Paraná, Rondônia**. 1997. 51 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

RICHARDSON, C.W.; WRIGHT, D.A. **WGEN**: a model for generating daily weather variables, Washington, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, 1984, 83 p.

ROLIM, G. de S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente ExcelTM para os cálculos de balanços hídricos: normal,seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.133-137, 1998.

ROSOLEM, R. **O impacto do desmatamento no ciclo hidrológico: um estudo de caso para a rodovia Cuiabá-Santarém**. 2005. 81p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SAMPAIO, S.C.; LONGO, A.J.; QUEIROZ, M.M.F. de; GOMES, B.M.; VILAS BOAS, M.A. SUSZEK, M. Estimativa e distribuição da precipitação mensal provável no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 267-272, 2006.

SANTIAGO, A.V. **Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO**. 2005. 69 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SANTOS, D.M.; ROCHA, E.J.P. da; RIBEIRO, J.B.M.; ROLIM, P.A.M. Influência dos fenômenos el niño e la niña na precipitação do estado do Amazonas. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 2., 2006, Manaus. **Anais...** Manaus, 2006. 1 CD-ROM.

SARTORIO, S.D. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R**. 2008. 130 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SCERNE, R.M.C.; SANTOS, A.O. da S.; SANTOS, M.M. dos; ANTÔNIO NETO, F.. Aspectos agroclimáticos do município de Ouro Preto d’Oeste – RO: Atualização quinquenal, Belém, PA, CEPLAC/SUPOR. 48 p. (Boletim Técnico, 17).

SEDAM – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/home>. Acesso em: 10 mar. 2008.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-12, 1996

SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de; ALFONSI, R.R. Um século de desmatamento: efeitos no regime térmico, pluvial e no balanço hídrico em Campinas, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 99-103, 1994.

SENTELHAS, P.C.; FARIA, R.T. de; CHAVES, M.O.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 357-376, 2001.

SEVERO, D.L.; GAN, M.A. Anomalias de precipitação na região sul do Brasil – resultados preliminares.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CBMET, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, V. P. R.; CORREIA, A. A. ; COELHO-ZANOTTI, M. S. S. . Análise de tendência das séries de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, (Online), v. 2, p. 111-115, 1998.

SILVA DIAS, M.A.F. da; COHEN, J.C.P.; GANDÚ, A.W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 215-222, 2005.

SILVA, F.M.; LERMEN, V.K.; NERY, J.T. Variabilidade interanual da precipitação na bacia do rio Iguaçu. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1439-1444, 2001.

SILVA, J.C. da; HELDWEIN, A.B.; MARTINS, F.B.; TRENTIN, G. GRIMM, E.L.. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 67–72, 2007.

SILVEIRA, V.P.; GAN, M.A. Estudo de tendência das temperaturas mínimas na Região Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBMET, 2006. 1 CD-ROM.

SILVEIRA, V.P.; GAN, N.A.; CALBETE, N.O. Estudo de tendência da temperatura mínima nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju. CBAGRO, 2007. 1 CD-ROM.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des series d'observations**. Genève: Organization Météorologique Mondiale, 1975. 192p. (OMM Note Technique, 143).

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.

SOLTANI, A.; HOOGENBOOM, G. Coupling Crop Simulation Models with Generated Weather Data to Assess Crop Management Options. In: ASIAN SIMULATION AND MODELING, 2007, Chiang Mai, Thailand. **Anais...** Chiang Mai, Thailand: ASIMMOD, 2007. p. 262- 266.

SOUZA, J.L de; AMORIM, R.F.C. de; CARVALHO, S.M.R. de; PEREIRA, J.O.; CURI, P.R. Agrupamento de estações pluviométricas do estado de Alagoas, utilizando-se análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 7,n.2, p. 603-602, 1992.

TARIFA, J. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola do Brasil. **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, n. 8, p. 15-26, jan.-mar., 1992.

THOM, H.C.S. **Same methods of climatological analyses**. Word Meteorological Organization Geneva, 1996. 53 p. (WMO, 199; TP, 103; Technical note., 81).

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, R.J. **The water Balance**. New Gersey : Laboratory of Climatology, v. 8, 104 p. 1955. (Publication in Climatology).

TINGEM, M.; RIVINGTON, M.; AZAM-ALI, S.; COLLS, J.. Assessment of the ClimGen stochastic weather generator at Cameroon sites. **African Journal of Environmental Science and Technology**, Abuja, v. 1, n. 4, p. 86-92, nov., 2007.

VAIRINHOS, V.M.; GALINDO, M.P. Biplots PMD - Data Mining Centrada em Biplots. Apresentação de um Protótipo. In: JORNADAS DE CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS, 11., 2004, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 1 a 3 de Abril de 2004. p. 26-34.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2. Recife-PE, março de 2006. Disponível em: http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 13 mar. 2008.

VIANELLO, R.L; ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 2000. 449 p.

VICTORIA, D. de C.; BALLESTER, M.V.R.; PEREIRA, A.R. Balanço hídrico da bacia do Ji-Paraná (RO) por modelo hidrológico simples, espacialmente distribuído. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 16-21 abril 2005. p. 2563-2569.

VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 6, n. 2, p. 2215-228, 1976.

VIRGENS FILHO, J.S. das. **Modelo computacional para simulação de dados climáticos**. 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1997.

_____. **Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade**. 2001. 92 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

VIRGENS FILHO, J.S. das; LEITE, M. de L.; CATANEO, A. Avaliação de três geradores de dados climáticos na simulação da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 196-209, 2006.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, Stockholm, v. 2, p 184-194. 1981.

WISSMANN, J. A. Ferramenta computacional para análise de consistência de dados pluviométricos. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 6, n. 11, p. 99-106, 2006.

ZANETTI, S.S.; OLIVEIRA, V. de P.S.; PRUSKI, F.F. Validação do modelo ClimaBR em relação ao número de dias chuvosos e à precipitação total diária. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.96-102, jan.-abr., 2006.