

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA GERAÇÃO DE SÉRIES SINTÉTICAS DE PRECIPITAÇÃO¹

SIDNEY S. ZANETTI², FERNANDO F. PRUSKI³, MICHEL C. MOREIRA⁴,
GILBERTO C. SEDIYAMA³, DEMETRIUS D. SILVA⁵

RESUMO: Desenvolveu-se um programa computacional que permite a aplicação da metodologia para geração de séries sintéticas de precipitação desenvolvida por OLIVEIRA (2003). O desenvolvimento do aplicativo foi viabilizado pela elaboração de um algoritmo computacional em ambiente de programação “Borland Delphi 6.0”. Os dados de entrada necessários são provenientes de banco de dados no formato padronizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) com registros pluviométricos diários provenientes de estações meteorológicas. A partir dessas informações, o programa computacional é capaz de gerar séries sintéticas de precipitação diária contendo o total precipitado em milímetros, a duração do evento em horas, o tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea e a intensidade máxima instantânea padronizada. A série sintética gerada é armazenada em arquivos no formato “Texto” que podem ser acessados posteriormente por outros aplicativos e/ou planilhas eletrônicas. Além dos arquivos, são apresentadas várias informações na forma de gráficos e quadros, facilitando a avaliação do desempenho da metodologia desenvolvida.

PALAVRAS-CHAVE: chuva, gerador climático, modelo computacional.

SOFTWARE FOR GENERATION OF SYNTHETIC SERIES OF PRECIPITATION

ABSTRACT: A computational model was developed to generate synthetic series of rainfall using the method developed by OLIVEIRA (2003). The software was developed in Borland Delphi 6.0 environment. The input data come from the daily precipitation data in the standardized format of the National Water Agency (ANA). The software is capable to generate synthetic series of daily rainfall containing the amount and the duration of the rainfall, and the standardized event time of the maximum instantaneous intensity. The generated synthetic series are stored in text-formatted files that may be accessed by others softwares and/or electronic datasheets. There were also presented graphs and tables format, to easily evaluate the performance of the method developed.

KEYWORDS: rainfall, climatic generator, computational model.

INTRODUÇÃO

Os modelos de simulação têm sido utilizados em diversas áreas da atividade humana, como na engenharia e em aplicações com fins militares. Nas últimas décadas, o uso desses modelos foi identificado como opção interessante na área da pesquisa agrícola. Esta opção ganhou maior importância porque, além da complexidade própria da agricultura como atividade específica, suas relações com outros setores da economia tornaram-se cada vez mais importantes.

¹ Extraído da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro.

² Eng^o Agrônomo, Doutorando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, Fone: (0XX22) 2726.1543, sidney@uenf.br. Bolsista do CNPq.

³ Eng^o Agrícola, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. Bolsista do CNPq.

⁴ Graduando em Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

⁵ Eng^o Agrônomo, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. Bolsista do CNPq.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 27-6-2003

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 17-12-2004

O desenvolvimento de modelos para a geração de elementos climáticos simulados é de grande importância para a avaliação de sistemas agrícolas e para a simulação do comportamento de sistemas hidrológicos. O conhecimento da distribuição das precipitações no espaço e no tempo desempenha papel relevante no planejamento das atividades produtivas. Tal é a importância desse conhecimento, que esse acaba por condicionar decisões, sejam de ordem tática ou estratégica, em atividades como a agropecuária, a construção civil, os transportes e o turismo.

As pesquisas sobre precipitação no Brasil têm se restringido, na maioria das vezes, à previsão da lâmina total máxima ou da intensidade máxima provável. Poucos trabalhos consideram o padrão dos eventos ou as características do perfil de precipitação. Nesse contexto, as pesquisas para a avaliação das perdas de água e solo têm utilizado, por falta de tecnologia local, geradores de séries sintéticas de precipitação desenvolvidos para outros países, como, por exemplo, o WGEN - Weather Generation (RICHARDSON (1981), o CLIGEN - Climate Generator (NICKS et al., 1995), o GEM - Generation of Weather Elements for Multiple Applications (JOHNSON, 2003) e outros.

Segundo WILKS (1999), uma série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais a fim de gerar seqüências de variáveis aleatórias que se assemelham aos dados climáticos reais.

Visando a apresentar alternativas para essa deficiência, OLIVEIRA (2003) desenvolveu e testou metodologia para a geração de séries sintéticas de precipitação diária a partir de séries históricas de registros pluviométricos diários. As informações geradas foram a precipitação total diária, a duração, o tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea e a própria intensidade máxima instantânea dos eventos, além do perfil instantâneo dos mesmos. A metodologia foi desenvolvida a partir da aplicação de princípios estatísticos e matemáticos associados às informações pluviográficas e pluviométricas de 11 estações meteorológicas situadas no Rio de Janeiro. O desempenho do modelo foi comparado com os dados observados e com dados obtidos utilizando o CLIGEN, apresentando resultados que mostram a potencialidade de adoção da nova metodologia para a geração de séries sintéticas de precipitação para o Estado do Rio de Janeiro. O uso da metodologia, entretanto, apresenta grandes dificuldades devido aos numerosos e repetitivos procedimentos matemáticos demandados na sua aplicação.

Em razão da importância de utilizar metodologia mais apropriada para a geração de séries sintéticas de precipitação para as condições climáticas brasileiras, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver modelo computacional capaz de aplicar a metodologia para geração de séries sintéticas de precipitação.

MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento utilizado para a geração das séries sintéticas de precipitação diária foi baseado na metodologia desenvolvida por OLIVEIRA (2003), a qual foi sistematizada em modelo computacional que permite sua aplicação, bem como a realização de algumas análises para a avaliação do seu desempenho.

O programa computacional foi desenvolvido por meio da elaboração de algoritmo utilizando o ambiente de programação "Borland Delphi 6.0", possibilitando que as equações fossem aplicadas de forma lógica e seqüencial para gerar as séries sintéticas de precipitação. Os resultados gerados são armazenados em arquivo no formato "Texto", que pode ser acessado por outros aplicativos e/ou planilhas eletrônicas. Além do arquivo, são apresentadas várias informações na forma de gráficos e quadros.

O programa foi projetado para ser executado numa plataforma "Windows 98" ou superior, possuindo interface de fácil utilização e auto-explicativa. Conta com sistema de ajuda com

informações pertinentes aos dados de entrada e de saída, bem como informações para auxiliar o entendimento da parte técnica para a solução de dúvidas referentes ao uso da própria interface.

Para a utilização do aplicativo, é necessário que o usuário disponha de banco de dados com registros pluviométricos diários provenientes da estação meteorológica de interesse. As séries são geradas diariamente para todos os meses dos anos simulados. Nos dias chuvosos, o programa calcula o total precipitado em milímetros (P_c), a duração do evento em horas (D), o tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea (t_i^*) e a intensidade máxima instantânea padronizada (i_i^*).

O formato do arquivo de entrada de dados adotado como padrão no programa computacional corresponde ao utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). A partir da série de dados históricos, o programa calcula as seguintes informações necessárias à geração da série sintética: valores mensais da média (\bar{x}_j), do desvio-padrão (s_j) e do coeficiente de assimetria (g_j) do total precipitado diário, e os valores mensais das probabilidades de ocorrência diária de chuva, condicionado à ocorrência ou não de chuva no dia anterior [$P(C/C)_j$ e $P(C/S)_j$].

Para o cálculo de \bar{x}_j , s_j e g_j , os dados diários de precipitação são, primeiramente, separados em 12 grupos mensais, sendo considerados apenas os dias com ocorrência de precipitação. O valor de g_j correspondente à razão entre a assimetria adimensionalizada e o cubo do desvio-padrão, sendo calculado com o uso da equação, apresentada por ASSIS (1996):

$$g_j = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}_j}{s_j} \right)^3 \quad (1)$$

As probabilidades condicionais de ocorrência de dias chuvosos são também estimadas mensalmente pelo processo estocástico denominado cadeia de Markov, e o modelo computacional utiliza, para a determinação dessas probabilidades, dependências de primeira ordem com apenas dois estados, ou seja:

$$P(C/C)_j = \frac{\sum_{i=1}^n DCC_i}{\sum_{i=1}^n DC_i} \quad (2)$$

$$P(C/S)_j = \frac{\sum_{i=1}^n DCS_i}{\sum_{i=1}^n DS_i} \quad (3)$$

em que,

- $P(C/C)_j$ - probabilidade, obtida para cada mês, de ocorrência de um dia chuvoso, sendo o dia anterior chuvoso, decimal;
- DCC_i - dia chuvoso, sendo o dia anterior também chuvoso;
- DC_i - dia chuvoso;
- $P(C/S)_j$ - probabilidade, obtida para cada mês, de ocorrência de um dia chuvoso, sendo o dia anterior seco, decimal;
- DCS_i - dia chuvoso, sendo o dia anterior seco, e
- DS_i - dia seco.

Precipitação diária

Para os dias chuvosos, a precipitação diária é estimada a partir da distribuição Pearson tipo III, sendo calculada pela equação:

$$P = \bar{x}_j + \frac{2s_j}{g_j} \left\{ \left[\frac{g_j}{6} \left(x' - \frac{g_j}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1 \right\} \quad (4)$$

em que,

- P - precipitação total diária, mm, e
- x' - variável aleatória padronizada, adimensional.

Após a geração da precipitação total diária para todos os dias chuvosos dos anos simulados, o modelo computacional realiza a correção de \bar{x}_j e s_j mensais com a finalidade de melhorar o ajuste da série sintética em relação à série real. As correções são efetuadas por meio de ajuste proporcional em todos os valores diários de precipitação. A correção de \bar{x}_j é obtida com o uso da equação:

$$P' = \frac{\bar{x}_j}{\bar{x}_{j,c}} P \quad (5)$$

em que,

- P' - precipitação total diária com média corrigida, mm, e
- $\bar{x}_{j,c}$ - média da precipitação total diária mensal calculada a partir dos valores de precipitação obtidos pela eq.(4).

e a correção de s_j , sem alterar \bar{x}_j , é feita por:

$$P_c = (P' - \bar{x}_j) \frac{s_j}{s_{j,c}} + \bar{x}_j \quad (6)$$

em que,

- P_c - precipitação total diária corrigida, mm, e
- $s_{j,c}$ - desvio-padrão da precipitação total diária mensal calculada a partir dos valores de precipitação corrigidos pela eq.(5).

Duração da precipitação

Conforme YU (2001), a estimativa da duração da precipitação é obtida pela equação:

$$D = \frac{\Delta}{-2 \ln(1 - \alpha_{0,5})} \quad (7)$$

em que,

- D - duração do evento, horas;
- Δ - parâmetro que expressa a relação entre os valores diários de intensidade máxima instantânea e de intensidade média, adimensional, e
- $\alpha_{0,5}$ - razão entre os valores do máximo total precipitado em meia hora e a precipitação diária, adimensional.

O valor generalizado de Δ , indicado por OLIVEIRA (2003), equivale a 3,33, sendo, portanto, esse o valor adotado como padrão na estimativa da duração de cada evento de precipitação. Os valores diários de $\alpha_{0,5}$ são obtidos a partir da distribuição de probabilidade Gama. Os parâmetros α e β da

distribuição Gama adotados como padrão são os valores generalizados das 11 estações incluídas na base de dados para consulta, e equivalem a 2,32 e 0,16, respectivamente. Todos os parâmetros podem ser alterados para os valores específicos das estações incluídas na base de dados.

Intensidade máxima instantânea de precipitação padronizada

Conforme metodologia proposta por OLIVEIRA (2003), o modelo computacional estima a intensidade máxima instantânea de precipitação com o uso da eq.(8):

$$i_i = 5,638 \left(\frac{P_c}{D} \right)^{0,833} \quad (8)$$

em que, i_i é a intensidade máxima instantânea do evento, mm h^{-1} .

Os coeficientes 5,638 e 0,833 foram adotados como padrão e representam os coeficientes obtidos com base nas 11 estações consideradas no estudo. Os valores diários de i_i são padronizados, resultando num valor adimensional (i_i^*), que é a razão entre a intensidade máxima instantânea (i_i) e a intensidade média de precipitação do evento (P_c / D).

Tempo padronizado de ocorrência da intensidade máxima instantânea

A obtenção do tempo padronizado decorrido entre o início da chuva até o momento da ocorrência da intensidade máxima instantânea (t_i^*) é estimada para cada dia com ocorrência de precipitação.

Conforme metodologia proposta por NICKS et al. (1995), o modelo inicialmente gera internamente 12 classes com intervalos iguais, variando de 0 a 1. São utilizados como parâmetros de entrada 12 valores, correspondentes às frequências acumuladas da ocorrência de t_i^* em cada classe.

Os parâmetros adotados como padrão são os obtidos com base nas 11 estações em que foram determinados e podem ser alterados, por meio de consulta à base de dados, para os valores específicos de uma das 11 estações cadastradas.

Nessa estimativa, o modelo computacional utiliza dois novos números aleatórios diários. O primeiro número aleatório é considerado, para o evento, como sendo a frequência de ocorrência de t_i^* acumulada nas 12 classes estabelecidas. O segundo aleatório representa a localização do tempo de ocorrência da intensidade máxima instantânea dentro da classe selecionada pelo primeiro aleatório. O cálculo de t_i^* é efetuado pela soma do limite inferior da classe correspondente à frequência selecionada pelo primeiro aleatório com a proporção da amplitude de classe quantificada pelo segundo aleatório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa computacional desenvolvido foi denominado CLIMABR, sendo a Figura 1a ilustrativa da tela de apresentação do mesmo, constando o seu nome, sua finalidade e o grupo responsável pelo seu desenvolvimento.

Na Figura 1b, está apresentada a tela pertinente à seleção dos dados de entrada a partir do banco de dados da ANA. Como exemplo, podem ser observadas as informações referentes à estação Afonso Arinos (RJ), que possui série histórica com dez anos de registros consecutivos (1973 a 1982).

No item “Configurações”, da barra de menu, é feita a abertura da tela representada na Figura 2a, pela qual o usuário pode fornecer as informações necessárias para a geração da série sintética.

Para a apresentação dos resultados obtidos com a aplicação do CLIMABR, tomou-se como exemplo uma série sintética de precipitação gerada para a estação Afonso Arinos (02243017), localizada no Município de Três Rios, no Estado do Rio de Janeiro.

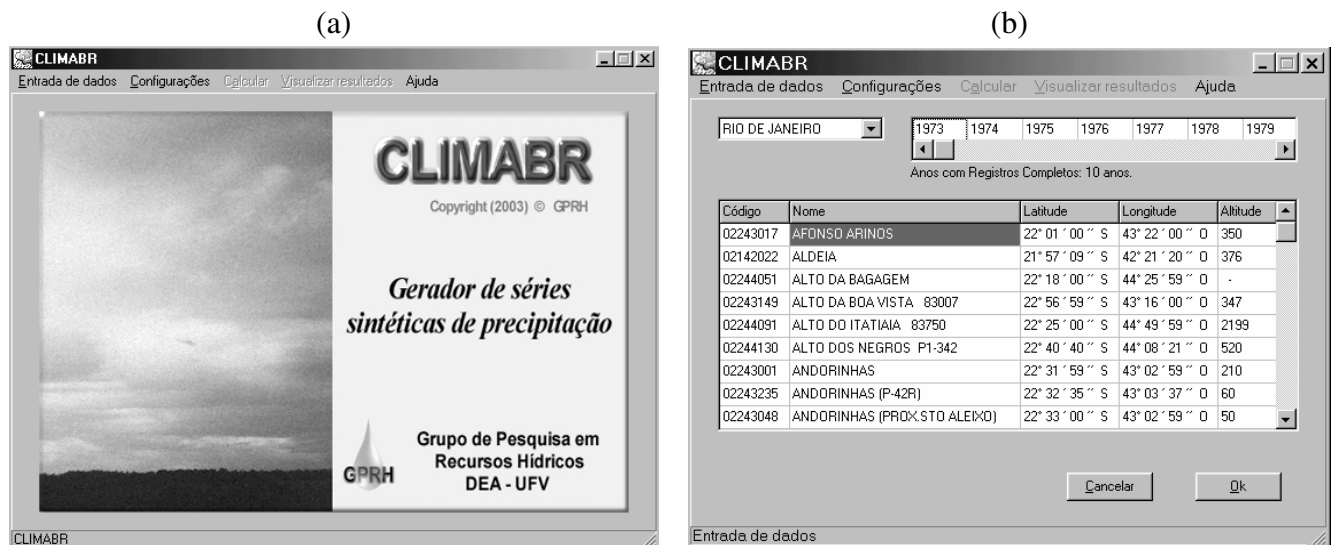


FIGURA 1. Tela de apresentação do programa computacional (a) e da escolha da estação de interesse a partir do banco de dados da ANA (b).

Para fins de análise e comparação da série gerada com a série original, foi simulada uma série sintética de precipitação com a mesma extensão da série observada, ou seja, dez anos (Figura 1b). Os parâmetros pluviográficos de entrada adotados para a geração da série sintética foram os valores inicialmente apresentados como padrão pelo CLIMABR.

Clicando no item “Calcular” da barra de menu, o CLIMABR inicia os cálculos para a geração da série sintética, e no final da operação, as informações diárias geradas são salvas em um arquivo-texto (Figura 2b) com o nome e diretório escolhidos pelo usuário.

Além dos resultados apresentados na Figura 2b, o CLIMABR disponibiliza informações gráficas para a avaliação do desempenho do modelo proposto por meio da sua comparação com os dados climáticos originais.

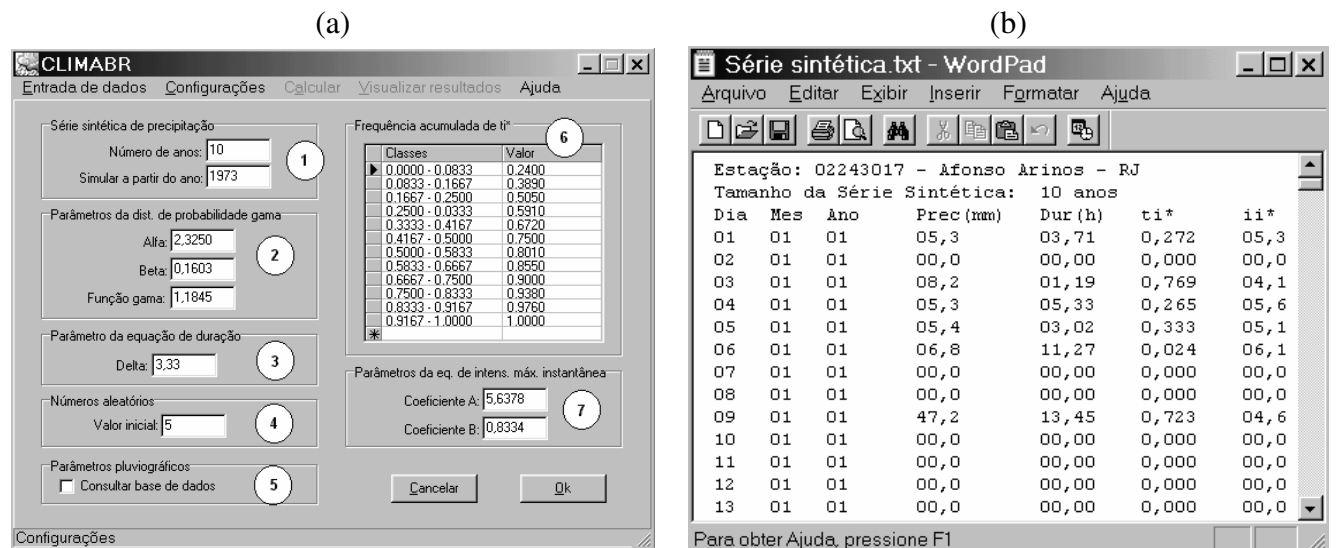


FIGURA 2. Fornecimento das informações pertinentes à série sintética, parâmetros das equações e valor inicial (“semente”) dos números aleatórios (a) e os dados da série sintética gerada armazenados no arquivo-texto (b).

Na Figura 3a, estão apresentadas, pelas barras pretas, as precipitações diárias estimadas para os dez anos da série sintética produzida, e pelas barras cinzas, os dados da série histórica original utilizada pelo CLIMABR, o que permite verificar o seu desempenho em reproduzir os eventos e a sua distribuição temporal. Apesar de não existir uma correspondência cronológica entre as magnitudes dos eventos simulados e os observados, o CLIMABR reproduziu, durante os dez anos de simulação, eventos máximos com magnitudes e frequências semelhantes às verificadas nos registros históricos. Analisando os eventos máximos de ambas as séries, constatou-se que os três maiores eventos de precipitação de cada série ocorreram nos meses de janeiro e dezembro, sendo esses de 200,0; 136,4 e 125,0 mm na série observada e de 196,1; 138,8 e 124,4 mm na série sintética, o que mostra que os eventos extremos máximos foram reproduzidos de forma representativa para essas condições de simulação.

Na Figura 3b, estão apresentadas as durações correspondentes a cada uma das precipitações geradas pelo CLIMABR. Nessa simulação, ficou evidenciado grande número de precipitações com duração de 24 h (4,83%), fato não correspondente ao observado nas séries históricas, na qual, dos 7.824 dias chuvosos das 11 estações pluviográficas estudadas, apenas 0,13% das precipitações apresentaram duração de 24 h. A evidência desse comportamento, somente possível a partir dos recursos disponibilizados pelo programa computacional CLIMABR, permitiu caracterizar a necessidade de aprimoramento do modelo desenvolvido para a estimativa da duração das precipitações. O mesmo tipo de análise gráfica foi realizado para a intensidade máxima instantânea (i_i) e para o seu tempo padronizado de ocorrência (t_i^*).

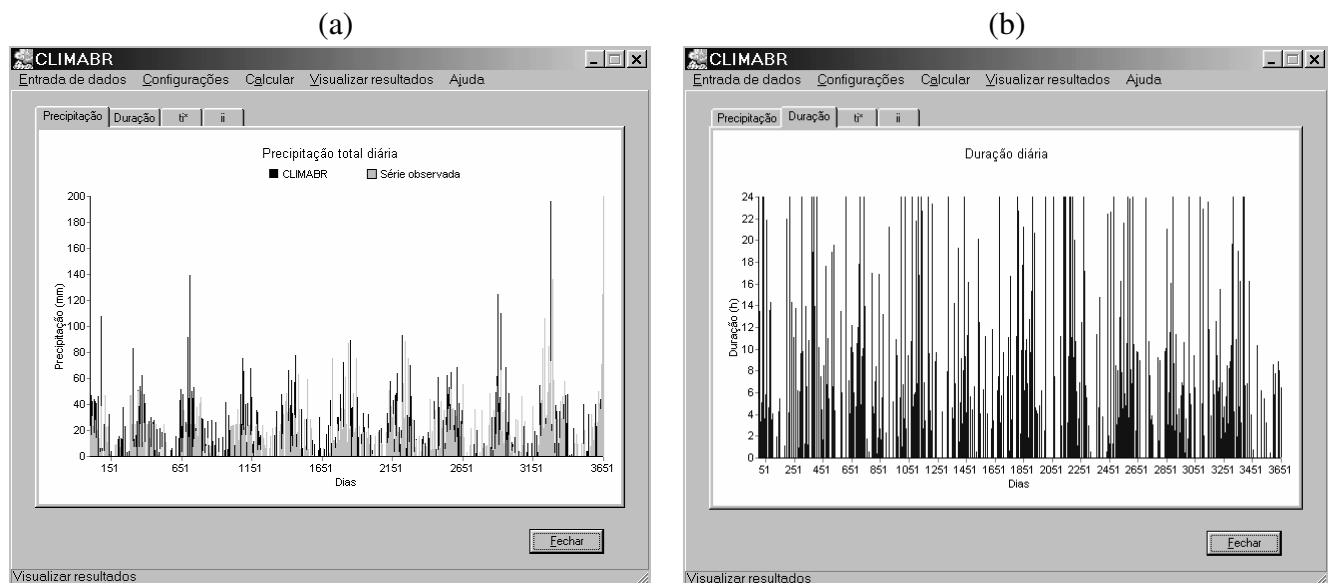


FIGURA 3. Precipitações diárias observadas e simuladas (a) e duração das precipitações diárias (b) geradas pelo CLIMABR para a estação Afonso Arinos (RJ).

Visando também a avaliar os resultados gerados pela sua comparação com a série pluviométrica histórica, o CLIMABR permite correlacionar os pares de dados mensais por meio de regressões lineares simples com passagem forçada pela origem do plano cartesiano, já que a condição ótima de simulação corresponde à disposição dos 12 pontos médios mensais sobre uma reta correspondente à função identidade, a qual tem completa correspondência entre os pares de valores comparados.

Além da equação de regressão ajustada, são apresentados, na área do gráfico, o coeficiente de determinação (r^2) e o erro-padrão da estimativa, conforme pode ser observado na Figura 4. Os valores do erro-padrão da estimativa (0,09 mm), do coeficiente angular da reta (1,003) e do coeficiente de

determinação (1,000) demonstram o bom desempenho do CLIMABR na representação dos valores médios mensais das precipitações diárias para essas condições de simulação. Pode-se evidenciar, ainda, que as maiores variações, nesta simulação, ocorreram em fevereiro, junho e agosto, com superestimativas de 0,9; 1,0 e 2,1%, respectivamente. Em cinco meses, houve tendência de superestimativa dos valores mensais, e nos outros seis meses, a variação foi nula. As menores variações ocorreram nos meses mais chuvosos dos anos, o que indica o melhor ajuste do CLIMABR para representar o período que mais contribui com o total anual da precipitação. O mesmo tipo de gráfico é traçado para s_j , g_j , $P(C/C)_j$, $P(C/S)_j$ e número de dias chuvosos.

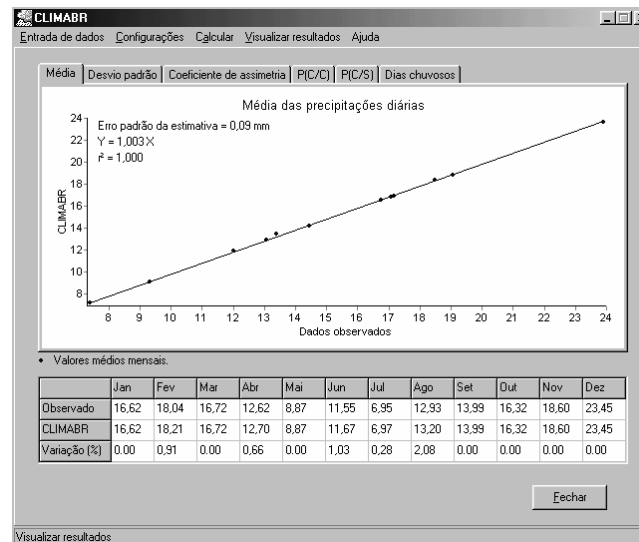


FIGURA 4. Regressão linear ajustada para os valores mensais da média das precipitações diárias observadas e geradas pelo CLIMABR para a estação Afonso Arinos (RJ).

CONCLUSÕES

O CLIMABR permite, de forma fácil e rápida, a geração de séries sintéticas de precipitação, baseadas no modelo de OLIVEIRA (2003), contendo as seguintes informações: precipitação total diária, duração, intensidade máxima instantânea e o seu tempo padronizado de ocorrência.

O CLIMABR disponibiliza dispositivos para a avaliação do desempenho do modelo proposto e sua comparação com os dados climáticos originais.

Os recursos computacionais utilizados pelo CLIMABR permitiram caracterizar que a maior necessidade de aprimoramento do modelo desenvolvido diz respeito à estimativa da duração das precipitações.

REFERÊNCIAS

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. *Aplicações estatísticas à climatologia*. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161 p.

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

NICKS, A.D.; LANE, L.J.; GANDER, G.A. Weather Generator: USDA - Water erosion prediction project (WEPP). In: _____. *USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory*. West Lafayette, 1995. cap.2, p.22.

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

RICHARDSON, C.W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research*, Washington, v.17, n.1, p.182-90, 1981.

WILKS, D.S. Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.85-101, 1999.

YU, B. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.43, n.2, p.301-7, 2001.