



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Credenciado pelo Decreto de 06/07/2000 - D.O.U. nº 130 de 07/07/2000



Paulo Valério Medeiros Gomes

SIMULAÇÃO UTILIZANDO O MODELO HIDROLÓGICO AUTO-CALIBRÁVEL (MODHAC) NA SUB-BACIA DO RIO SONO

**Palmas
2006**

Paulo Valério Medeiros Gomes

SIMULAÇÃO UTILIZANDO O MODELO HIDROLÓGICO AUTO-CALIBRÁVEL (MODHAC) NA SUB-BACIA DO RIO SONO

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) do curso de Engenharia Agrícola, coordenada pelo professor M. Sc. Silvestre Lopes da Nóbrega, sob orientação do Prof. M. Sc. Gonzalo Álvaro Vazquez Fernandez.

**Palmas
2006**

PAULO VALÉRIO MEDEIROS GOMES

SIMULAÇÃO UTILIZANDO O MODELO HIDROLÓGICO AUTO-CALIBRÁVEL (MODHAC) NA SUB-BACIA DO RIO SONO

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) do curso de Engenharia Agrícola, coordenada pelo professor M. Sc. Silvestre Lopes da Nóbrega, sob orientação do Prof. M. Sc. Gonzalo Álvaro Vazquez Fernandez.

Aprovada em julho de 2006

BANCA EXAMINADORA

M.Sc. Gonzalo Álvaro Vazquez Fernández
Centro Universitário Luterano de Palmas

M.Sc. Silvestre Lopes da Nóbrega
Centro Universitário Luterano de Palmas

M.Sc. Carlos Spartacus
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas

2006

Dedico este trabalho aos meus pais, Gismar
Gomes e Felismina Maria Medeiros Gomes.

AGRADECIMENTOS

Aos professores, Silvestre e Gonzalo, pelo apoio dado a este trabalho, e pela orientação ao longo do curso.

Ao professor Juan, pela contribuição a minha formação pessoal e profissional.

Aos meus amigos Hiromu, Francisco, e a todos que não citei, mas que contribuíram neste período de aprendizagem de minha vida, estando presentes nos momentos de dificuldades e auxiliando nas mesmas.

Ao meu avô Paulo Gomes, pelo exemplo de vida, dignidade e perseverança nas metas pretendidas.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1 - Algumas bacias onde o MODHAC já foi ajustado	18
Figura 1- Ajuste com a função objetivo absoluta	31
Figura 2- Ajuste com a função objetivo logarítmica	32
Figura 3- Ajuste com a função objetivo Modular.....	32
Figura 4- Ajuste com a função objetivo Mínimo quadrado.....	33
Figura 5- vazão simulada.....	34
Tabela-2- resultados das vazões calculas/simuladas no período de 1 a 20	35
Tabela-3- Resultados das vazões calculas/simuladas no período de 21 a 48	35
Tabela 4- Resultados do ajuste da função absoluta	37
Tabela 5- Resultados do ajuste da função log	37
Tabela 6- Resultados do ajuste da função modular	38
Tabela 7- Resultados do ajuste da função mínimos	38
Tabela 8- Parâmetros de entrada	39

SUMÁRIO

ABSTRACT	8
RESUMO	9
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos gerais	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Modelo hidrológico	13
2.2 Classificação dos modelos	14
2.3 Aplicação do modelo	15
2.4 Escolha do modelo	16
2.5 TOPMODEL	16
2.6 MODHAC	17
2.6.1 Características do modelo matemático	17
2.6.2 Algoritmos do MODHAC	19
2.7 Parâmetros do MODHAC	21
2.7.1 Os seguintes parâmetros são aqueles que mais afetarão o ajuste do modelo:	21
2.7.2 Os seguintes parâmetros são medianamente sensíveis:	22

2.7.3 Os parâmetros menos sensíveis são:.....	23
2.8 Informações para controle do processo	26
3 MATERIAIS E METÓDOS.....	28
3.1 Área de estudo	28
3.2 Materiais utilizados	28
3.3 Métodos	29
3.4 Dados de entrada do MODHAC.....	30
3.4.1 Dados de chuvas	30
3.4.2 Dados de evapotranspiração	30
3.4.3 Dados de vazões	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Calibração.....	31
4.2 Simulação	34
5 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÊNDICE I – RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO ABSOLUTA	42
APÊNDICE II –RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO LOG	45
APÊNDICE III –RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO MODULAR.....	48
APÊNDICE IV –RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO MÍNIMOS	51
APÊNDICE V – PARÂMETROS ENTRADA.....	54
APÊNDICE VI – RESULTADOS DO AJUSTE DAS SIMULAÇÕES	56

ABSTRACT

If was used the hydrological self calibrate model (MODHAC) at sub-basin of the Sono river. The objective functions coordinates that had the best adjustment were determined putting them on the simulation of periods to determine leaks.

there was the system calibration with adjustment to the functions minimal squared, modular, absolute and log.

The results have shown an excellent curve adjustment to the log objective function.

Keywords: model hydrological, MODHAC, simulation hydrological

RESUMO

Utilizou-se o modelo hidrológico auto calibrável (MODHAC) na sub-bacia do rio Sono. Determinaram-se os parâmetros das funções objetivo de melhor ajuste, aplicando-os na simulação de períodos para determinação de vazões.

Houve a calibração do sistema com ajuste para as funções de mínimos quadrados, modular, absoluta e logarítmica.

Os resultados mostraram um ajuste da curva ótimo para a função objetiva logarítmica.

Palavras chave: modelo hidrológico, MODHAC, simulação hidrológica.

1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais renováveis vêm sendo explorados ao longo da história da humanidade como uma das principais fontes de riqueza. A água, indispensável à sobrevivência do ser humano tem papel fundamental na qualidade de vida da população.

Porém, o uso intensivo e inadequado dos recursos hídricos vem acarretando diversos impactos no meio ambiente, provocando a inadequação para o consumo humano na escala rural e urbana.

Na escala rural ocorre com a degradação do solo, por erro de manejo nas adubações e correções, degradação de áreas de preservação por meio de desmatamento das matas ciliares ou cabeceiras de rios, alterando de forma gradativa a área da bacia, comprometendo seu potencial de infiltração e conseqüente capacidade de armazenamento de água.

A interferência na escala urbana também ocorre por meio da alteração da área da bacia. Pois com a ocupação de regiões que antes eram de cobertura vegetal, agora dão lugar aos empreendimentos industriais, residenciais e comerciais, que possuem um coeficiente de Runoff diferente. Diminuindo a capacidade de infiltração, alterando a drenagem natural da bacia, tendo ainda efeitos de poluição industrial e esgoto doméstico, sendo estes causadores de forma direta da inadequação da água para o consumo humano.

No entanto, com a preocupação da sociedade e dos poderes públicos, criou-se a necessidade de leis e normas que possam regulamentar o uso da água, passando-a de um recurso natural renovável a um recurso com valor econômico. Estas normas e leis baseiam-se nas condições hidrológicas da bacia a fim de prever o potencial de produção de água disponível, permitindo assim, a outorga da água para consumo e produção econômica.

O Tocantins hoje possui uma grande riqueza hídrica correspondente à bacia do Tocantins - Araguaia, sendo esta com percentual de 7,5 % do território nacional, e destes 83% pertence ao estado.

A gestão da bacia hidrográfica permite prever alterações no potencial produtivo, identificando práticas que alterem a sustentabilidade e permitindo intervenção dos órgãos governamentais a tempo de não comprometer os recursos.

Um modelo teórico de gestão de bacias permite a análise de possíveis intervenções na região estudada, sendo este fundamentado em modelos hidrológicos. Um modelo hidrológico é a análise do fluxo de água na bacia, obtido equacionando as atividades climáticas e físicas pertencente à área de estudo através do balanço hídrico.

1.1 Objetivos gerais

Aplicar o Modelo Hidrológico Auto-Calibrável (MODHAC) na micro-bacia do rio Sono, pertencente à bacia do Tocantins – Araguaia, analisando suas características hidrológicas como evapotranspiração, dinâmica de água no solo e escoamento superficial, estudando os diversos modelos hidrológicos propostos na literatura.

1.2 Objetivos específicos

- Modelar a relação chuva versus vazão;
- Calibrar, validar e simular com o MODHAC a micro-bacia do rio Sono.
- Preencher vazões em períodos falhos

2 REVISÃO DE LITERATURA

O gerenciamento dos recursos hídricos pode ser traduzido como sendo um instrumento que orienta o Poder Público e a sociedade, em longo prazo, na utilização e monitoramento dos recursos ambientais - naturais, econômicos e socioculturais, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, de forma a promover o desenvolvimento sustentável (LANNA, 1995).

2.1 Modelo hidrológico

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre.

Muitos modelos hidrológicos podem ser encontrados na literatura. Em geral, estes modelos devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressões do solo, o movimento da água no solo causado pela infiltração, percolação, entrada e saída de água subterrânea, e o escoamento superficial, subsuperficial e nos canais de escoamento (RENNÓ, 2000).

2.2 Classificação dos modelos

De acordo com RENNO (2000) os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos). Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Note, no entanto, que uma variável de entrada pode ser aleatória, mas o modelo ainda assim é determinístico quando cada valor de entrada produz um único valor de saída. Sistemas multivariados não-lineares podem levar os resultados caóticos que erroneamente são interpretados como variáveis aleatórias.

Os modelos podem ser empíricos, quando utilizam relações baseadas em observações. Em geral, estes modelos são bastante simples e úteis no dia a dia.

No entanto, são pouco robustos, uma vez que são específicos para aquela região para quais as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo, etc. Os modelos podem ser também baseados em processos (modelos conceituais) e, em geral, são mais complexos que os empíricos, uma vez que procuram descrever todos os processos que envolvem determinado fenômeno estudado.

Apesar dos fenômenos naturais variarem continuamente no tempo, na maioria das vezes, estes fenômenos são representados por modelos discretos. A escolha do intervalo de

tempo (passo) no qual o modelo será executado depende basicamente do fenômeno estudado, da disponibilidade de dados e da precisão desejada nos resultados.

Em geral, quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados, aumentando também o custo computacional para geração destes resultados. Os modelos podem ainda ser classificados como pontuais (concentrados ou agregados) ou distribuídos.

Os modelos geralmente descrevem processos com diferentes níveis de detalhamento e diferentes escalas de tempo. Um modelo pode ser detalhado, apropriado a pequenos intervalos de tempo e espaço, ou ser mais simples e genérico, podendo simular o comportamento de regiões inteiras e/ou períodos de tempo mais longos (décadas, séculos). De fato, muitos modelos trabalham em diferentes escalas espaciais e temporais. Alguns processos podem ser simulados considerando-se intervalos de tempo bastante pequenos (minutos, horas e dias) e escalas espaciais muito detalhadas (estômato, folha, planta), mas os resultados serem gerados para intervalos de tempo maiores (dias, meses, estações, anos, décadas) e escalas espaciais menos detalhadas (dossel, comunidade, região). A generalização espacial dos resultados pode ser conseguida através do uso de técnicas de geoprocessamento e com o uso de dados de sensoriamento remoto.

2.3 Aplicação do modelo

A aplicação de modelos hidrológicos envolve: a escolha do modelo, a seleção e análise dos dados necessários, ajuste e verificação dos parâmetros, definição de cenários de aplicação, prognósticos e a estimativa das incertezas dos resultados.

2.4 Escolha do modelo

De acordo com. TUCCI (1998) os principais aspectos para escolha do modelo são os objetivos do estudo, as características da bacia e do rio e a disponibilidade de dados.

Dentre os modelos atuais utilizados destacam-se o IPH, IPH II, IPH III, IPH IV, IPHMEN, SCS, AMC I, AMC II, AMC III, SSARR, SMAP, TOPMODEL, ANSWERS e STANFORD IV.

Utilizaremos o modelo MODHAC que utiliza de relações físicas para representar a bacia hidrográfica e os processos hidrológicos, pois nossa base de dados disponibiliza os parâmetros necessários.

2.5 TOPMODEL

O modelo proposto é o de precipitação vazão que segundo. TUCCI (1998) o mesmo representa parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão.

Este modelo descreve a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, o fluxo do solo por infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, subsuperficial e no rio.

O TOPMODEL baseia-se nos seguintes elementos:

- Discretização da bacia
- Precipitação
- Evapotranspiração
- Estrutura básica da integração dos processos

- Aquisição dos dados físicos da bacia
- Determinação dos parâmetros

2.6 MODHAC

De acordo com LANNA(1997a) o MODHAC é um modelo matemático de simulação da fase terrestre do ciclo hidrológico. Conhecidas séries simultâneas das variáveis motoras deste processo, chuva e evapotranspiração potencial, o modelo computa o armazenamento e a abstração da água na bacia. Na versão atual, o modelo não considera de forma explícita a variabilidade espacial das características fisiográficas, que condicionam o processo hidrológico. Trata-se, portanto, do que é chamado no jargão hidrológico de modelo globalizado. Como o nome diz, o modelo pode ter seus parâmetros calibrados automaticamente de forma a aprimorar um índice de aderência entre as vazões observadas e calculadas.

2.6.1 Características do modelo matemático

O MODHAC possui 14 parâmetros de calibração, embora dependendo das condições da bacia e do intervalo de computação, alguns podem ser fixados a priori.

O modelo é simulado através de três reservatórios fictícios, em que representam a água armazenada superficialmente, a água armazenada sub-superficialmente, no chamado

horizonte vegetal do solo, e a água armazenada nas camadas inferiores do solo, incluindo o aquífero subterrâneo. Estes reservatórios são respectivamente denominados reservatório superficial, sub-superficial e subterrâneo.

Tabela 1 - Algumas bacias onde o MODHAC já foi ajustado

Bacia	Estado	Referência - entidade contratante
Bacias representativas do Nordeste: Tauá, Juatama, Sumé	CE, PB e PE	Teste dos autores
Rio Pajeú	CE	Teste dos autores
Todas	CE	Plano Estadual de Recursos Hídricos - Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará
Rio Paraguaçu	BA	Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio Paraguaçu - Coordenadoria de Recursos Hídricos
Rio Grande	BA	Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio Grande - Coordenadoria de Recursos Hídricos da Bahia
Rio de Contas	BA	Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio de Contas - Coordenadoria de Recursos Hídricos da
Rios Almada, Salgado e Colônia	BA	Estudo de alternativas de abastecimento da cidade de Ilhéus - Empresa Bahiana de Saneamento
Rio das Mortes	MT	Teste do autores
Rios Manoel Alves, Itoupava e Mãe Luzia	SC	Estudo de alternativas para incremento de disponibilidades de água no sul de Santa Catarina -
Rio dos Sinos	RS	Simulação da aplicação de instrumento de gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio dos Sinos -
Rio Potiribú	RS	Teste do autores
Rio Conceição e Toropi	RS	Teste dos autores
Rio Paracatú	MG	Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio Paracatú - RURALMINAS
Rio Caí	RS	Estudo para o Conselho de Recursos Hídricos do RS
Rios Taquari e Antas	RS	Estudo para o Conselho de Recursos Hídricos do RS

Fonte: LANNA (1997a)

2.6.2 Algoritmos do MODHAC

De acordo com LANNA (1997a) os algoritmos do MODHAC são agrupados em:

Algoritmo de ajuste de chuva;

Este algoritmo estabelece correções a erros sistemáticos de medição da chuva precipitada devido à má distribuição e/ou pequena densidade de pluviômetros. A necessidade do uso deste algoritmo é identificada quando o volume total de escoamento calculado difere significativamente do volume total do escoamento observado, qualquer que sejam os valores dos parâmetros de ajuste do MODHAC.

Algoritmos de variação das reservas hídricas;

A variação das reservas hídricas nos diversos estratos da bacia é simulada pela operação de três reservatórios fictícios. O reservatório superficial, o sub-superficial e o subterrâneo. Cada reservatório tem uma capacidade que estabelece um limite de armazenamento, acima do qual há extravasamento. Dependendo do reservatório, o extravasamento dará origem a um tipo de movimentação hídrica.

Algoritmos de separação da chuva remanescente;

Este algoritmo é responsável pela geração dos escoamentos superficiais originados pelas chuvas de grande intensidade que não conseguem se infiltrar totalmente devido à saturação da lâmina mais superficial do solo. Estes escoamentos poderão ocorrer mesmo quando a parte superficial do solo, representada no modelo pelo reservatório sub-superficial, não estiver saturada.

Algoritmo de propagação dos escoamentos.

O MODHAC acumula os escoamentos gerados nos intervalos de computação em um intervalo de simulação, múltiplo do anterior. Isso dará origem ao escoamento calculado no exutório da bacia. Na medida em que o intervalo de simulação for suficientemente maior que o tempo de concentração da bacia, a redistribuição exata no tempo dos escoamentos, ocasionada pelos efeitos de atrito e armazenamento, não é um fator relevante. Isso permite a banalização dos processos de propagação.

2.7 Parâmetros do MODHAC

2.7.1 Os seguintes parâmetros são aqueles que mais afetarão o ajuste do modelo:

RSPX: capacidade máxima do reservatório superficial. Sua faixa de variação é de 0 a 60 mm. Valores mais baixos ocorrerão em bacias com solos permeáveis e vegetação rala. Já a presença de açudes, depressões e zonas impermeáveis tenderão a aumentar os valores. É responsável pelo retardo na resposta do escoamento superficial à ocorrência de chuvas.

RSSX: capacidade máxima do reservatório sub-superficial. Sua faixa de variação é de 20 a 300 mm, com intervalos de computação diários, atingindo o limite superior em solos arenosos. Para intervalos de computação mensal valores superiores poderão ser obtidos, devido ao processo contínuo de enchimento e esvaziamento deste reservatório dentro de um mês. Existe dependência de seu valor com a capacidade de retenção de água nas camadas superiores do solo onde ocorre atividade vegetal relevante, ou seja, em torno de uns 30 a 50 cm. Seu efeito é estabelecer um aumento da abstração de água por evapotranspiração e na sustentação dos escoamentos durante curtos períodos de estiagem.

RSBX: capacidade máxima do reservatório subterrâneo. Sua faixa de variação vai de 0 a 300 mm em intervalos de computação diários. Para intervalos mensais valores superiores poderão ser encontrados. Valores nulos indicam a inexistência deste reservatório e serão justificados em bacias sem aquíferos subterrâneos relevantes. Este é o caso das bacias do semi-árido do Nordeste do Brasil assentadas em subsolo cristalino fraturado. Este parâmetro afeta a sustentação de escoamentos durante longos períodos de estiagem. Em bacias onde são

observados períodos com escoamentos nulos este parâmetro deverá ser nulo ou próximo a zero. Bacias com subsolo sedimentar conduzem a valores na faixa superior.

2.7.2 Os seguintes parâmetros são medianamente sensíveis:

IMIN: infiltração mínima. Tem um efeito análogo ao do parâmetro RSPX, no sentido de aumentar o retardo da resposta do escoamento superficial a chuvas. Portanto, ele é mais efetivo em intervalos diários de computação onde este retardo pode ser observado de forma significativa. No entanto, seu incremento diminui o escoamento superficial direto enquanto aumenta o hipodérmico e o subterrâneo. Portanto, ele deve ser usado para transladar os escoamentos no tempo. Sua faixa de variação é de 0 a 10 mm, sendo maior em solos permeáveis.

IDEC: coeficiente de infiltração. Varia entre zero e 1. O valor 0,5 para IDEC usualmente apresenta bons resultados em uma primeira calibragem. Valores próximos a zero farão IMIN virtualmente convergir para IMAX, sendo representativos de bacias de solo homogêneo com chuvas bem distribuídas temporal e espacialmente.

ASBX: expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo, quando seu armazenamento for superior a RSBY. Haverá cogitação sobre o valor deste parâmetro apenas quando o valor de RSBX for não nulos. Sua faixa de variação será de valores próximos a zero (0,001 por ex.) a 0,1, quando o intervalo de computação for diário. Este parâmetro ajusta o escoamento subterrâneo. Seu aumento tem o efeito de antecipar o escoamento e sua diminuição de transladá-lo para o futuro.

CHOM: este parâmetro representa a fração da evapotranspiração potencial (ETP) que é suprida diretamente da chuva. Em intervalo diário de computação seu valor tende a ser

unitário significando que toda ETP pode ser suprida desta forma, havendo chuva suficiente. Ao se adotar intervalo mensal de computação valores ao redor de 0,9 poderão ser obtidos. Ele é um parâmetro de homogeneidade temporal da chuva: quando maior for, mais constantemente distribuída no intervalo de computação é suposta ser a chuva. Em situações em que a chuva se concentra em poucos dias do mês e sendo adotado o intervalo mensal de computação, os dias secos determinarão parcelas de ETP não supridas diretamente, explicando um valor remanescente de ETP, mesmo a chuva total mensal superando a ETP inicial. O efeito deste parâmetro é aumentar o volume total de água escoado na bacia.

2.7.3 Os parâmetros menos sensíveis são:

IMAX: permeabilidade do solo. Sua faixa de variação vai de 20 a 100 mm em intervalos diários de computação. É responsável pela atenuação do escoamento superficial direto. Seu valor aumenta em solos permeáveis. Em bacias de grande área, heterogêneas nas suas características e nas das chuvas que ocorrem, este parâmetro poderá não interferir na calibração. Seu valor ótimo estará na faixa em que ele se torna totalmente insensível, quando então o algoritmo de separação superficial da chuva remanescente será controlado pelos parâmetros IMIN e IDEC. Ou seja, na situação em que PMAX (Equação 9) será tal que superará o valor das chuvas remanescentes mais altas ocorridas na bacia. Neste caso, em nenhum momento ocorrerá a estabilização da infiltração em seu valor máximo, igual a IMAX. Isso é explicado pela heterogeneidade da bacia que, por seu porte, nunca estará em qualquer local com as mesmas condições de saturação da camada superficial do solo. Em bacias menores e em regiões de chuvas homogeneamente distribuídas no espaço, poderá existir a

situação em que este parâmetro apresente sensibilidade. O mesmo ocorre ao se adotar intervalo mensal de computação, particularmente quando IMIN e IDEC forem nulos.

CEVA: parâmetro da lei de evapotranspiração do solo. Valores próximos a 1 aumentarão a abstração de água da bacia por evapotranspiração. Este poderá ser o caso de pequenas bacias com solos homogêneos em regiões tropicais semi-áridas. Regiões mais temperadas com boa cobertura vegetal farão o expoente aproximar-se de zero.. Valores próximos a zero poderão também ser encontrados em grandes bacias com alto grau de heterogeneidade pedológica, independente do clima. Um valor baixo, da ordem de 0,3 costuma conduzir a resultados razoáveis no início da calibração.

ASP: expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial. O aumento deste parâmetro colabora com o retardo da resposta dos escoamentos à ocorrência de chuvas. Um valor baixo ou nulo como ponto de partida deve ser usado nas fases iniciais de calibração.

ASS: expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial. Seu efeito é transladar o escoamento hipodérmico no tempo. Um valor baixo, igual a 0,005 , pode ser uma boa tentativa nas fases iniciais de calibração.

TS: tempo de trânsito do escoamento superficial. Seu valor deverá ser fixado na dependência do tempo de concentração estimado da bacia. Em geral, afeta muito pouco os resultados da simulação quando o intervalo de computação é o diário e o de simulação o mensal.

TB: tempo de trânsito do escoamento subterrâneo. Mesmos comentários relativos a TS se aplicam. Normalmente, $TB \geq TS$.

Os seguintes parâmetros deverão ser usados em uma fase final de calibração, procurando obter convergência entre os volumes totais de escoamentos calculados e observados, quando ela não puder ser obtida com ajuste dos parâmetros anteriores:

PRED: correção da precipitação. Nos casos em que existe uma boa densidade de pluviômetros na bacia este parâmetro deverá ser fixado com o valor 999 e não haverá correção da precipitação. Nos outros casos deverá ser verificado se as precipitações medidas sub ou superestimam os valores reais. No caso de superestimativa PRED deverá ser positivo. No outro caso, negativo. Seu ajuste deverá ser conduzido após os parâmetros mais sensíveis, listados previamente, terem sido pré-ajustados e quando for confirmada a hipótese de inconsistência das precipitações medidas.

RSBF: armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo ao escoamento de base. Este parâmetro é dado em percentagem da capacidade do reservatório subterrâneo. Logo, seu valor varia entre 0 e 100. Este parâmetro influencia as simulações de forma idêntica ao parâmetro PRED, de ajuste de chuva, quando este último for positivo. Ou seja, ele diminui os escoamentos da bacia. Seu uso deverá ser cogitado quando houver um excesso de escoamento calculado em conjunto com boa consistência dos dados pluviométricos. O uso efetivo, porém, deve ocorrer quando houver evidências de que a bacia é assentada em subsolo cristalino com relevante sistema de fraturas ou no Karst.

Os parâmetros RSBY e ASBY foram recentemente integrados ao modelo e ainda não existem informações sobre suas sensibilidades. Eles deverão ser efetivos no ajuste das curvas de recessão do hidrograma, durante as estiagens. Quando RSBY for nulo, ASBY deverá também sê-lo.

Em conclusão, existem dois parâmetros que apenas em situações especiais serão calibrados: PRED e RSBF. Dois outros tem sua calibração realizada de forma banal: TS e TB. Em bacias assentadas sobre subsolo cristalino no Nordeste do Brasil, os parâmetros RSBX, ASB e RSBF terão valor nulo. Com isto, para esta região, sobram 7 parâmetros a calibrar. Em alguns casos se verá que o parâmetro IMAX poderá ter valor fixado a priori e o parâmetro ASP poderá ser considerado nulo, restando apenas 5 parâmetros na calibração.

Em bacias em climas temperados, assentadas sobre subsolos sedimentares, poucos parâmetros poderão ser fixados à priori. Não obstante isto, tem sido verificado que valores de partida dos parâmetros próximos aos ótimos podem ser obtidos a priori desde que sejam conhecidas as características regionais e das bacias. Foram realizados teste em que foram otimizados até 10 parâmetros em conjunto tendo sido obtida a convergência a valores ótimos, apesar da necessidade de grande número de simulações (LANNA, 1997a).

2.8 Informações para controle do processo

De acordo com LANNA (1997b) as seguintes informações devem ser inseridas pelo usuário afim de caracterizar os valores dos parâmetros, tolerância e variação.

- MAXIT - o número máximo de simulações a ser conduzido na calibração; quando este valor for atingido o procedimento é encerrado sendo apresentada a melhor solução obtida.
- PASSO - Controle do passo de variação $e(i)$ de cada parâmetro. Após cada rotação retorna-se ao passo inicial de variação de cada parâmetro quando $PASSO = 0$; o passo permanece igual ao corrente quando $PASSO = 1$. Quando $PASSO = 0$ são diminuídas as probabilidades de que o ótimo seja atingido pela precisão dos parâmetros (critério 2 de ótimo).
- FOPT - Tipo de função-objetivo utilizada, notada por 1, 2, 3 ou 4.
- FTOL - Precisão percentual de otimização da função-objetivo, segundo o critério de ótimo. Na primeira simulação computa-se o valor inicial da função objetivo f_0 . O ótimo será considerado atingido quando o melhor valor da

função-objetivo até a simulação corrente (f_{best}) e o seu melhor valor desde a última rotação, tendo sido encontrado um vale neste estágio (f_{est}), forem tais que $|f_{\text{best}} - f_{\text{est}}| \leq \text{FL}$ com $\text{FL} = \text{FTOL} \cdot f_0$. Logo, FTOL deverá ser menor que a unidade e, em geral, igual a 0,1 ou 0,01.

- IQS - período inicial de aquecimento, em intervalos de simulação. Durante este período, o ajuste entre as vazões calculadas e observadas não é considerado no cálculo da função-objetivo.
- QREF1 e QREF2 - limites inferior e superior, respectivamente, que definem a faixa de vazões que será considerada no cálculo da função objetivo e, portanto, da aderência entre vazões calculadas e observadas; introduzida em mm de lâmina de água escoada.

3 MATERIAIS E METÓDOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo está compreendida na bacia do Tocantins-Araguaia, sub-bacia de código 22 no município de Dois Irmãos Do Tocantins. A unidade possui uma área de drenagem de 18500 km².

3.2 Materiais utilizados

- Dados fluviométricos da bacia do rio sono no período de janeiro de 1996 a dezembro de 1999, obtidos da estação de Novo Acordo-TO de código 22700000;
- Dados de pluviosidade no período de janeiro de 1996 a dezembro de 1999 da estação 01147000;
- Programa HIDRO, para gerenciamento de dados;

- Programa EXCEL para edição de dados;
- Programa MODHAC para calibração, verificação e simulação do modelo;

3.3 Métodos

- Organização dos Dados por meio do programa HIDRO, definindo os períodos de estudo e importando os dados da Agencia Nacional De Águas;
- Elaboração dos arquivos exigidos pelo MODHAC, referentes aos dados de chuva, evapotranspiração potencial e vazões;
- Importar os dados com o MODHAC e a partir daí dar início ao processo de calibração;
- Verificar se os dados estão coerentes;
- Simular o preenchimento de falhas;
- Gerar gráficos de comparação entre vazões observadas e calculadas a partir do programa EXCEL.

3.4 Dados de entrada do MODHAC

3.4.1 Dados de chuvas

Dados diários de pluviosidade obtidos da estação 01147000, em que se delimita o final do período de computação pelo número -999., simulando mensalmente os dados. O arquivo de chuvas se encontra nos anexos.

3.4.2 Dados de evapotranspiração

Dados médios diários de evapotranspiração potencial obtidos no Instituto nacional de Meteorologia, em que se delimita as medias diárias de computação para os períodos de estudos o arquivo se encontra nos apêndices.

3.4.3 Dados de vazões

Dado mensal de vazões obtidos da estação 22700000, em que consiste nas vazões media do período de janeiro de 1996 a dezembro de 1999, simulando mensalmente os dados, o arquivo de vazões se encontra nos anexos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Calibração

Houve a calibração do sistema com ajuste para as funções de mínimos quadrados, modular, absoluta e logarítmica. A partir dos resultados obtidos das vazões calculadas, podemos traçar um gráfico referente a cada função.

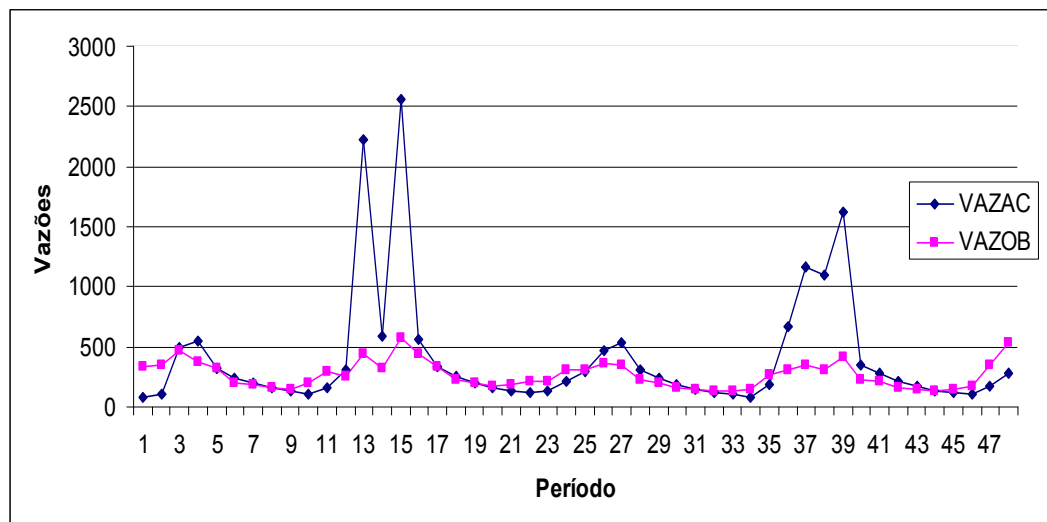


Figura 1- Ajuste com a função objetivo absoluta

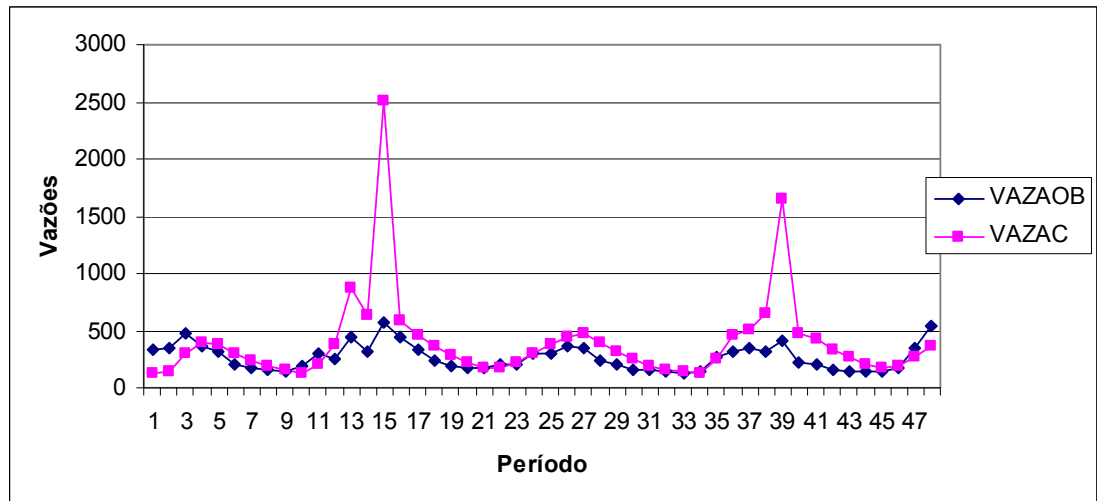


Figura 2- Ajuste com a função objetivo logarítmica

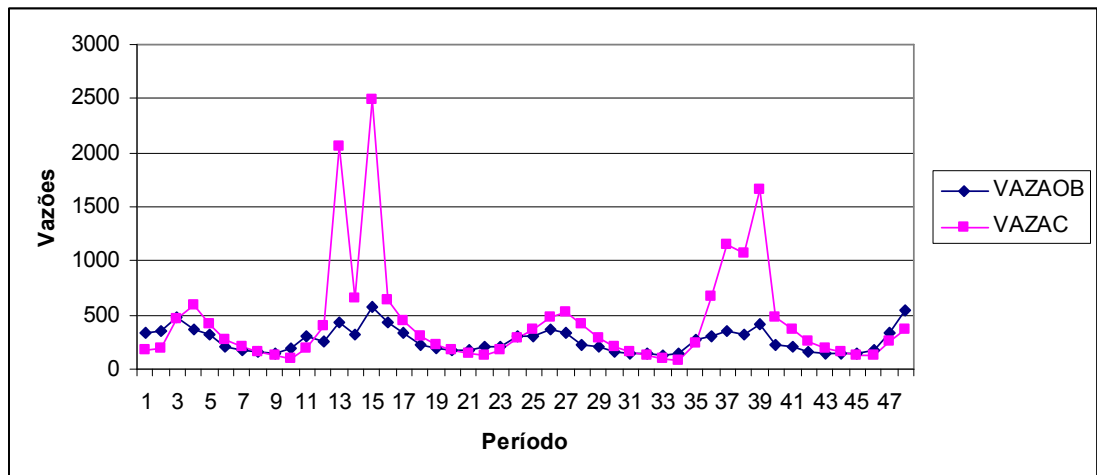


Figura 3- Ajuste com a função objetivo Modular

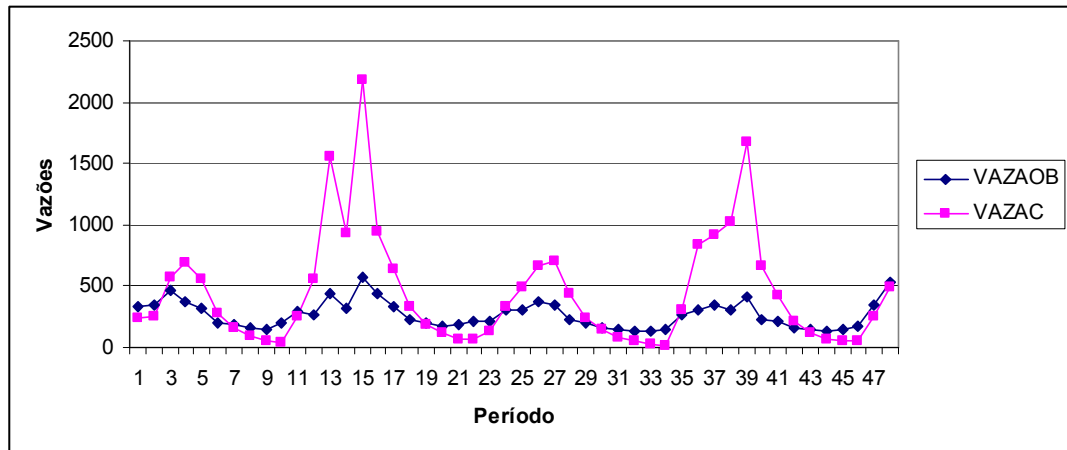


Figura 4- Ajuste com a função objetivo Mínimo quadrado

4.2 Simulação

Coletaram-se os dados de chuvas de setembro de 1993 a dezembro de 1993, ocultando o arquivo de vazão, assim simulamos a entrada da chuva para calcular a vazão.

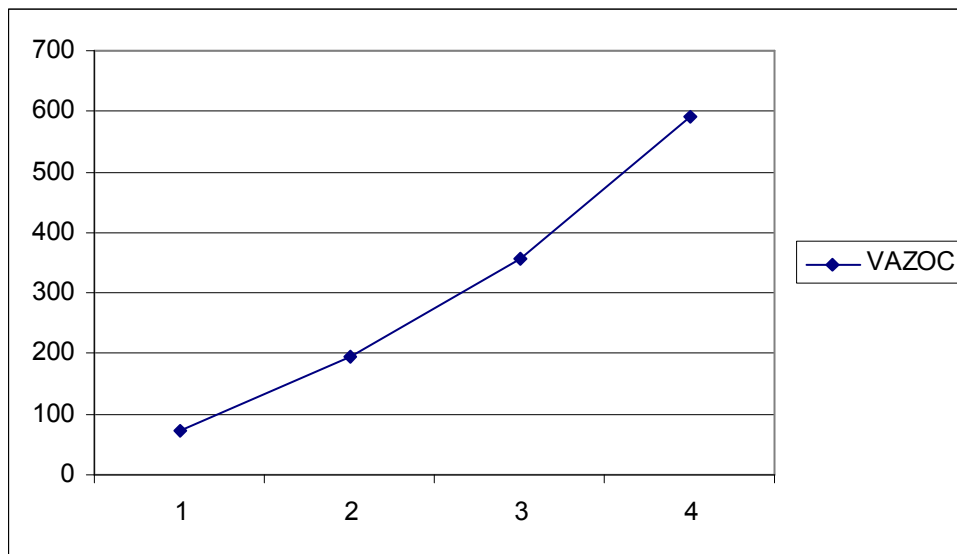


Figura 5- vazão simulada

Tabela-2- resultados das vazões calculas/simuladas no período de 1 a 20

Per.	VAZOB	absoluta	sim/obs	log	sim/obs	modular	sim/obs	min. Quad	sim/obs
1	330,00	85,55	0,259	126,38	1,477	175,38	2,050	234,03	0,709
2	352,00	105,74	0,300	143,62	1,358	186,80	1,767	248,17	0,705
3	472,00	491,94	1,042	297,38	0,605	463,01	0,941	569,69	1,207
4	369,00	546,44	1,481	391,18	0,716	587,45	1,075	691,17	1,873
5	321,00	322,10	1,003	378,02	1,174	416,75	1,294	558,00	1,738
6	202,00	241,44	1,195	297,59	1,233	276,73	1,146	284,34	1,408
7	182,00	194,34	1,068	232,43	1,196	212,78	1,095	163,96	0,901
8	162,00	158,61	0,979	184,26	1,162	164,38	1,036	97,33	0,601
9	142,00	129,86	0,915	150,89	1,162	127,50	0,982	58,22	0,410
10	198,00	106,34	0,537	125,50	1,180	98,93	0,930	34,88	0,176
11	298,00	165,03	0,554	208,24	1,262	198,93	1,205	248,32	0,833
12	261,00	313,11	1,200	375,81	1,200	405,72	1,296	555,69	2,129
13	438,00	2224,37	5,078	880,92	0,396	2064,37	0,928	1549,48	3,538
14	319,00	589,59	1,848	640,86	1,087	652,13	1,106	931,70	2,921
15	576,00	2563,00	4,450	2503,95	0,977	2490,77	0,972	2186,14	3,795
16	438,00	558,37	1,275	588,09	1,053	641,76	1,149	940,25	2,147
17	334,00	334,64	1,002	460,23	1,375	447,33	1,337	637,88	1,910
18	231,00	251,75	1,090	360,43	1,432	299,16	1,188	332,42	1,439
19	198,00	201,89	1,020	279,08	1,382	229,06	1,135	190,98	0,965
20	177,00	164,77	0,931	216,48	1,314	176,96	1,074	113,37	0,641

Tabela-3- Resultados das vazões calculas/simuladas no período de 21 a 48

Per.	VAZOB	absoluta	sim/obs	log	sim/obs	modular	sim/obs	min. Quad	sim/obs
21	181,00	134,91	0,745	174,85	1,296	137,26	1,017	67,82	0,375
22	212,00	119,58	0,564	169,09	1,414	130,59	1,092	66,38	0,313
23	214,00	137,82	0,644	223,48	1,622	178,57	1,296	135,10	0,631
24	303,00	219,11	0,723	308,40	1,408	282,16	1,288	336,79	1,112
25	308,00	295,01	0,958	376,38	1,276	374,32	1,269	489,87	1,590
26	366,00	466,81	1,275	452,27	0,969	482,25	1,033	667,19	1,823
27	342,00	536,22	1,568	468,44	0,874	521,24	0,972	707,64	2,069
28	231,00	312,73	1,354	392,25	1,254	410,26	1,312	439,64	1,903
29	206,00	245,29	1,191	317,69	1,295	284,05	1,158	243,66	1,183
30	163,00	186,06	1,141	251,33	1,351	206,65	1,111	140,16	0,860

31	151,00	152,28	1,008	198,30	1,302	160,34	1,053	83,97	0,556
32	138,00	124,28	0,901	160,91	1,295	123,87	0,997	49,84	0,361
33	130,00	101,75	0,783	135,49	1,332	96,08	0,944	29,82	0,229
34	148,00	83,33	0,563	121,45	1,457	74,55	0,895	17,86	0,121
35	265,00	182,18	0,687	248,10	1,362	235,18	1,291	305,23	1,152
36	310,00	662,95	2,139	465,11	0,702	672,47	1,014	840,89	2,713
37	351,00	1167,95	3,327	512,63	0,439	1149,67	0,984	916,56	2,611
38	312,00	1093,57	3,505	644,30	0,589	1066,46	0,975	1030,37	3,302
39	409,00	1621,22	3,964	1657,77	1,023	1661,79	1,025	1670,80	4,085
40	230,00	343,37	1,493	474,87	1,383	471,82	1,374	665,15	2,892
41	213,00	286,55	1,345	422,05	1,473	373,94	1,305	429,61	2,017
42	165,00	215,54	1,306	339,79	1,576	257,31	1,194	219,10	1,328
43	148,00	170,40	1,151	263,17	1,544	196,80	1,155	122,50	0,828
44	136,00	139,07	1,023	204,43	1,470	152,04	1,093	72,72	0,535
45	147,00	116,11	0,790	176,70	1,522	128,29	1,105	51,32	0,349
46	176,00	103,29	0,587	184,66	1,788	135,22	1,309	55,47	0,315
47	342,00	172,25	0,504	277,50	1,611	248,80	1,444	249,87	0,731
48	538,00	274,92	0,511	366,07	1,332	371,55	1,351	486,99	0,905

Pode se observar que as funções tendem a superestimar as vazões, porém consegue-se uma precisão superior a 80% nos ajustes para a função modular.

Tabela 4- Resultados do ajuste da função absoluta

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO												
FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 37.8												
FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 1.441E+03												
FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 1.90												
FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 241.												
VALOR OTIMO DOS PARAMETROS												
RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA	CHET
54.76	143.1	264.1	.0000	112.9	81.98	.2294	.0000	1,24E-3	2.5537E-03	999.0	.8603	.9999
Valor otimo da função-objetivo = 1.9040810												

Tabela 5- Resultados do ajuste da função log

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO												
FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS =22.4												
FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 919.												
FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO= 1.53												
FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA= 163.												
VALOR OTIMO DOS PARAMETROS												
RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA	CHET
19.53	310.8	337.4	.0000	73.03	91.22	4,37E+02	.0000	1,11E+01	6,63E+01	999.0	.1559	.5634
Valor otimo da funcao-objetivo = 163.33840												

Tabela 6- Resultados do ajuste da função modular

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO												
FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 35.1												
FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 1.376E+03												
FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 1.96												
FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 212.												
VALOR OTIMO DOS PARAMETROS												
RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA	CHET
34.51	137.7	280.3	.0000	111.7	77.91	.2569	.0000	3,01E+01	8,32E+01	999.0	.9758	.4747
Valor otimo da funcao-objetivo = 1375.8540												

Tabela 7- Resultados do ajuste da função mínimos

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO												
FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 29.3												
FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 1.550E+03												
FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 2.26												
FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 444.												
VALOR OTIMO DOS PARAMETROS												
RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA	CHET
51.45	143.3	273.3	.0000	113.4	60.93	.2444	.0000	4,22E+01	1,68E+02	999.0	.7150	.9999
Valor otimo da funcao-objetivo = 29.288380												

5 CONCLUSÕES

O uso do modelo mostrou resultados aceitáveis, principalmente no período em que há estiagem, pois o ajuste da curva se assemelha com a observada.

A simulação de vazões calculadas a partir dos dados de chuvas e evapotranspiração são coerentes, apresentando o preenchimento de falhas no período subsequente.

Devemos atentar que no período inicial da calibração, a função logarítmica e a modular, apresentaram melhor ajuste a curva de vazões. Sendo que a modular possui o melhor parâmetro para efetivar a simulação.

A simulação dos volumes escoados no processo de calibração apresentou uma tendência a superestimar os valores observados no período de 13 a 17 e de 37 a 41.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DADOS HIDROLÓGICOS. Agência Nacional das Águas. Disponível em <<http://www.gov.br>>. Acesso em 15/6/2006.

FERREIRA, Lucia, **Simulação hidrológica utilizando o modelo TOPMODEL em bacias rurais, estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Marins – seção Monjolinho – SP** Campinas, SP: [s.n.], 2004.

INPE. Instituto de Pesquisas Espaciais. RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Vianeí. Relatório Técnico Parcial. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**, Dezembro, 2000. 65p.

LANNA, A. E. (1997a) MODHAC – **Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**.(versão DOS 1997). IPH – UFRGS. Porto Alegre. 55p.

LANNA, A. E. (1997b) SAGBAH – **Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas** 1997). IPH – UFRGS. Porto Alegre. 55p.

LANNA, A.E E SCHWARZBACH, M. MODHAC - **Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**. Recursos Hídricos, Publicação 21. Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989.

LANNA, E.L. - **Gerenciamento de bacia hidrográfica: Aspectos Conceituais e metodológicos**. 1º ed., Brasília. IBAMA, 1995. 171p.

LILIAN VILELA ANDRADE PINTO; ELIZABETH FERREIRA; SORAYA ALVARENGA BOTELHO; ANTONIO CLAUDIO DAVIDE. **Caracterização física da bacia Hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG**. 2003.

RENNÓ, Camilo Daleles; SOARES, João Vianeí. INPE. Instituto de Pesquisas Espaciais. Relatório Técnico Parcial. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**, Dezembro, 2000. 65p.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE - SEPLAN. **Atlas do Tocantins: Subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico – DZE, 1999.

TUCCI, Carlos E. M., **Modelos Hidrológicos**. 1º ed. Porto Alegre, 1998. 669 p.

APÊNDICE I – RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO ABSOLUTA

MODHAC : RESULTADOS OBTIDOS
 PARAMETROS USADOS NESTA SIMULACAO
 RSPX= 54.7610 RSSX= 143.1071 RSBX= 264.1385 RSBF= .0000
 IMAX= 112.8700 IMIN= 81.9773 IDEC= .2294 ASP = .0000
 ASS = .0012 ASB = .0066 PRED= 999.0000 CEVA= .8603
 CHET= .9999

	CHUVA	VAZAO	VAZAO	EVAPOTRANSPIRACOES				UMIDADES			
INFILTRACAO											
	OBS	CAL	POTENCIAL	SUPERFICIE	SUBSOLO	TOTAL	SUPERFICIE				
SUBSOLO	AQUIFERO	PROFUNDA									
1	153.400	47.777	12.385	77.190	54.771	.000	77.190	43.311	138.546	35.074	.000
2	105.000	47.674	14.322	67.280	49.861	.000	67.280	42.341	135.621	62.367	.000
3	298.800	68.335	71.222	75.640	45.162	.000	75.640	54.761	142.575	194.932	.000
4	197.200	51.700	76.560	92.700	69.071	.000	92.700	50.441	141.516	228.251	.000
5	9.500	46.474	46.633	125.550	55.391	63.345	123.286	.000	73.503	186.285	.000
6	.000	28.302	33.828	175.800	.000	72.926	72.926	.000	.000	153.035	.000
7	.000	26.350	28.137	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	124.898	.000
8	.000	23.454	22.963	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	101.935	.000
9	.000	19.895	18.194	218.400	.000	.000	.000	.000	.000	83.740	.000
10	70.600	28.666	15.396	136.400	40.201	.000	65.800	4.800	.000	68.344	.000
11	381.300	41.752	23.122	96.900	49.452	.000	95.240	54.701	61.459	219.923	.000
12	145.300	37.787	45.332	79.360	56.321	.000	79.360	54.761	73.536	228.394	.000
13	492.400	63.413	322.041	77.190	34.952	.000	77.190	49.781	142.575	257.504	.000
14	143.700	41.715	77.099	67.480	39.071	.000	67.480	54.761	142.437	251.783	.000
15	457.400	83.392	371.067	75.640	15.523	.000	75.640	54.761	142.929	261.984	.000
16	136.000	61.367	78.232	92.700	63.371	.000	92.700	45.931	141.692	237.119	.000
17	23.700	48.356	48.449	125.550	60.431	54.238	123.869	.000	82.600	193.523	.000
18	.000	32.365	35.272	175.800	.000	81.870	81.870	.000	.000	158.981	.000
19	.000	28.666	29.230	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	129.751	.000
20	.000	25.626	23.856	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	105.895	.000
21	28.400	25.360	18.901	218.400	5.241	.000	28.400	.000	.000	86.994	.000
22	156.300	30.693	17.313	136.400	42.501	.000	67.900	50.361	3.812	103.908	.000
23	131.100	29.983	19.310	96.900	70.361	.000	96.900	54.761	6.772	111.439	.000
24	201.600	43.868	31.722	79.360	47.542	.000	79.360	52.201	26.306	184.984	.000
25	233.100	44.592	42.711	77.190	50.591	.000	77.190	49.781	82.658	244.250	.000
26	198.600	47.861	61.044	67.480	38.562	.000	67.480	47.531	142.398	256.836	.000
27	94.100	49.514	77.634	75.640	49.541	.000	75.640	31.841	138.042	217.708	.000
28	41.100	32.365	43.816	92.700	65.861	19.416	92.357	.000	113.669	178.849	.000
29	20.200	29.824	35.513	125.550	12.100	97.234	117.434	.000	13.805	145.966	.000
30	.300	22.838	26.069	175.800	.000	13.790	14.090	.000	.000	119.913	.000
31	.000	21.862	22.047	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	97.866	.000
32	2.000	19.979	17.993	238.700	.000	.000	2.000	.000	.000	79.872	.000
33	42.500	18.214	14.257	218.400	27.941	.000	42.500	.000	.000	65.616	.000
34	42.300	21.427	12.064	136.400	19.000	.000	34.700	7.600	.000	53.552	.000
35	386.400	37.129	25.524	96.900	39.523	.000	96.900	54.761	58.002	212.365	.000
36	287.200	44.881	95.981	79.360	49.102	.000	79.360	52.521	141.340	243.126	.000
37	229.700	50.817	169.094	77.190	43.222	.000	77.190	36.451	141.340	242.611	.000

38	238.500	40.799	143.004	67.480	34.752	.000	67.480	49.941	142.575	255.903	
.000											
39	284.500	59.214	234.718	75.640	45.201	.000	75.640	41.901	141.042	239.618	
.000											
40	77.500	32.225	48.109	92.700	70.112	3.720	92.681	26.661	132.481	200.129	.000
41	69.300	30.838	41.487	125.550	75.112	28.818	124.779	.000	98.971	163.334	.000
42	.000	23.118	30.198	175.800	.000	97.926	97.926	.000	.000	134.180	.000
43	.000	21.427	24.670	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	109.510	.000
44	.000	19.690	20.134	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	89.376	.000
45	74.700	20.596	16.268	218.400	35.500	.000	46.980	19.261	.362	81.206	.000
46	88.100	25.481	14.955	136.400	31.462	.360	49.421	54.761	.062	69.730	.000
47	196.500	47.917	24.134	96.900	63.732	.000	96.900	38.611	15.471	145.937	.000
48	290.700	77.891	39.802	79.360	48.642	.000	79.360	47.081	84.158	240.318	.000
TOT	6029.001	1823.470	2761.812	6379.479	1599.181	533.644	3048.739				.000

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO

FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 37.8

FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 1.441E+03

FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 1.90

FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 241.

VALOR OTIMO DOS PARAMETROS

RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED
CEVA	CHET									
54.76	143.1	264.1	.0000	112.9	81.98	.2294	.0000	1.2425E-036.5537E-03	999.0	.8603
.9999										

Valor otimo da funcao-objetivo = 1.9040810

APÊNDICE II – RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO LOG

MODHAC : RESULTADOS OBTIDOS
 PARAMETROS USADOS NESTA SIMULACAO
 RSPX= 19.5269 RSSX= 310.8349 RSBX= 337.4329 RSBF= .0000
 IMAX= 73.0329 IMIN= 91.2219 IDEC= .0437 ASP = .0000
 ASS = .0011 ASB = .0066 PRED= 999.0000 CEVA= .1559
 CHET= .5634

	CHUVA	VAZAO	VAZAO	EVAPOTRANSPIRACOES					UMIDADES		
	INFILTRACAO										
	OBS	CAL	POTENCIAL	SUPERFICIE	SUBSOLO	TOTAL	SUPERFICIE				
	SUBSOLO	AQUIFERO	PROFUNDA								
1	153.400	47.777	17.937	77.190	62.477	.612	76.715	8.077	148.429	62.242	.000
2	105.000	47.674	19.156	67.280	53.177	2.006	65.640	7.107	143.550	88.295	.000
3	298.800	68.335	43.003	75.640	54.727	1.890	74.313	19.527	173.911	226.998	.000
4	197.200	51.700	54.821	92.700	78.411	.244	92.582	15.569	190.279	264.385	.000
5	9.500	46.474	54.696	125.550	22.287	58.577	83.646	.000	126.153	215.238	.000
6	.000	28.302	41.696	175.800	.000	69.474	69.474	.000	53.827	176.394	.000
7	.000	26.350	33.677	210.800	.000	48.553	48.553	.000	4.386	143.604	.000
8	.000	23.454	26.701	238.700	.000	4.380	4.380	.000	.000	116.909	.000
9	.000	19.895	21.099	218.400	.000	.000	.000	.000	.000	95.810	.000
10	70.600	28.666	18.102	136.400	47.011	.016	61.901	6.721	.000	79.687	.000
11	381.300	41.752	29.273	96.900	66.861	.148	94.286	19.467	57.200	267.483	.000
12	145.300	37.787	54.703	79.360	54.749	3.557	71.286	19.527	66.296	277.637	.000
13	492.400	63.413	125.835	77.190	53.341	.000	77.190	14.547	309.803	328.485	.000
14	143.700	41.715	84.131	67.480	50.687	.000	67.480	19.527	308.810	316.588	.000
15	457.400	83.392	362.161	75.640	40.847	.000	75.640	19.527	310.491	334.505	.000
16	136.000	61.367	82.656	92.700	57.340	16.503	92.210	10.697	308.091	306.869	.000
17	23.700	48.356	66.323	125.550	28.733	79.198	113.595	.000	219.614	249.825	.000
18	.000	32.365	50.349	175.800	.000	104.653	104.653	.000	109.699	204.739	.000
19	.000	28.666	40.369	210.800	.000	72.709	72.709	.000	34.679	166.680	.000
20	.000	25.626	31.356	238.700	.000	34.308	34.308	.000	.000	135.695	.000
21	28.400	25.360	24.489	218.400	13.395	.000	28.400	.000	.000	111.206	.000
22	156.300	30.693	24.471	136.400	46.411	.768	62.353	15.127	7.783	157.772	.000
23	131.100	29.983	31.436	96.900	50.795	5.300	71.354	19.527	9.712	179.753	.000
24	201.600	43.868	44.918	79.360	59.982	.221	78.610	16.967	27.700	242.397	.000
25	233.100	44.592	54.815	77.190	52.731	2.018	70.478	14.547	75.062	305.263	.000
26	198.600	47.861	59.454	67.480	47.791	1.213	65.297	12.297	130.305	326.117	.000
27	94.100	49.514	68.041	75.640	53.235	3.868	72.550	3.565	142.192	276.471	.000
28	41.100	32.365	54.975	92.700	35.351	26.496	66.229	.000	111.710	230.414	.000
29	20.200	29.824	45.942	125.550	15.636	41.790	61.990	.000	66.810	187.582	.000
30	.300	22.838	35.177	175.800	.000	47.074	47.374	.000	18.413	153.729	.000
31	.000	21.862	28.711	210.800	.000	18.279	18.279	.000	.000	125.152	.000
32	2.000	19.979	23.265	238.700	.000	.000	2.000	.000	.000	101.887	.000
33	42.500	18.214	18.916	218.400	22.705	.338	31.246	.000	.000	94.225	.000
34	42.300	21.427	17.516	136.400	22.842	.000	32.779	9.521	.000	76.709	.000
35	386.400	37.129	34.886	96.900	63.264	.000	96.900	19.527	61.726	259.592	.000
36	287.200	44.881	67.614	79.360	61.395	.000	79.360	17.287	159.007	304.777	.000
37	229.700	50.817	74.253	77.190	57.550	.000	77.190	1.217	249.994	308.117	.000

38	238.500	40.799	82.711	67.480	47.083	1.122	67.256	14.707	309.803	323.350	
.000											
39	284.500	59.214	239.868	75.640	57.044	.000	75.640	6.667	306.763	303.423	.000
40	77.500	32.225	66.243	92.700	32.759	45.187	88.992	.000	262.435	276.683	.000
41	69.300	30.838	60.842	125.550	42.600	55.837	110.445	.000	200.697	236.432	
.000											
42	.000	23.118	47.444	175.800	.000	97.533	97.533	.000	98.390	193.763	.000
43	.000	21.427	38.041	210.800	.000	67.820	67.820	.000	28.548	157.744	.000
44	.000	19.690	29.586	238.700	.000	28.285	28.285	.000	.000	128.421	.000
45	74.700	20.596	24.741	218.400	19.527	2.800	30.629	.000	5.147	142.604	.000
46	88.100	25.481	26.760	136.400	17.963	5.130	33.009	19.527	6.332	150.224	.000
47	196.500	47.917	39.057	96.900	76.422	.000	96.900	3.377	21.668	211.579	.000
48	290.700	77.891	53.284	79.360	59.192	.613	77.112	11.847	82.970	302.111	.000
TOT	6029.001	1823.470	2675.499	6379.479	1626.323	948.521	3116.573				.000

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO

FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 22.4

FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 919.

FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 1.53

FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 163.

VALOR OTIMO DOS PARAMETROS

RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED
CEVA	CHET									
19.53	310.8	337.4	.0000	73.03	91.22	4.3680E-02	.0000	1.1086E-036	6342E-03	999.0
.1559	.5634									

Valor otimo da funcao-objetivo = 163.33840

APÊNDICE III – RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO MODULAR

MODHAC : RESULTADOS OBTIDOS
 PARAMETROS USADOS NESTA SIMULACAO
 RSPX= 34.5115 RSSX= 137.6692 RSBX= 280.2668 RSBF= .0000
 IMAX= 111.7132 IMIN= 77.9051 IDEC= .2569 ASP = .0000
 ASS = .0030 ASB = .0083 PRED= 999.0000 CEVA= .9758
 CHET= .4747

	CHUVA	VAZAO	VAZAO	EVAPOTRANSPIRACOES				UMIDADES			
	INFILTRACAO										
	OBS	CAL	POTENCIAL	SUPERFICIE	SUBSOLO	TOTAL	SUPERFICIE				
	SUBSOLO	AQUIFERO	PROFUNDA								
1	153.400	47.777	25.391	77.190	64.244	1.308	77.190	23.061	126.436	48.991	.000
2	105.000	47.674	25.300	67.280	58.470	.000	67.280	22.091	117.758	71.059	.000
3	298.800	68.335	67.033	75.640	60.583	.000	75.640	34.511	136.022	196.502	.000
4	197.200	51.700	82.307	92.700	80.966	.000	92.700	30.191	133.989	225.047	.000
5	9.500	46.474	60.336	125.550	37.269	85.086	124.777	.000	39.754	173.860	.000
6	.000	28.302	38.773	175.800	.000	39.404	39.404	.000	.000	135.438	.000
7	.000	26.350	30.806	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	104.632	.000
8	.000	23.454	23.799	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	80.833	.000
9	.000	19.895	17.864	218.400	.000	.000	.000	.000	.000	62.970	.000
10	70.600	28.666	14.323	136.400	50.957	.000	63.489	7.111	.000	48.647	.000
11	381.300	41.752	27.872	96.900	72.856	.000	95.855	34.451	58.866	220.014	.000
12	145.300	37.787	58.739	79.360	68.423	.000	79.360	34.511	64.461	221.560	.000
13	492.400	63.413	298.877	77.190	57.097	.000	77.190	29.531	136.431	270.904	.000
14	143.700	41.715	85.277	67.480	53.252	.000	67.480	34.511	135.157	258.141	.000
15	457.400	83.392	360.609	75.640	46.043	.000	75.640	34.511	137.255	277.193	.000
16	136.000	61.367	89.915	92.700	74.517	2.279	92.698	25.681	134.393	242.273	.000
17	23.700	48.356	64.764	125.550	44.437	75.546	124.928	.000	49.188	187.167	.000
18	.000	32.365	41.915	175.800	.000	48.636	48.636	.000	.000	145.804	.000
19	.000	28.666	33.164	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	112.641	.000
20	.000	25.626	25.620	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	87.020	.000
21	28.400	25.360	19.231	218.400	15.333	.000	28.400	.000	.000	67.789	.000
22	156.300	30.693	18.907	136.400	52.757	.000	65.589	30.111	6.051	103.431	.000
23	131.100	29.983	25.019	96.900	73.329	5.876	92.171	34.511	3.571	115.421	.000
24	201.600	43.868	40.850	79.360	63.678	.000	79.360	31.951	20.608	182.334	.000
25	233.100	44.592	54.193	77.190	63.689	.000	77.190	29.531	64.176	242.903	.000
26	198.600	47.861	63.062	67.480	53.752	.000	67.480	27.281	110.433	266.953	.000
27	94.100	49.514	75.464	75.640	62.358	.000	75.640	11.591	118.376	217.696	.000
28	41.100	32.365	57.481	92.700	48.858	39.690	92.382	.000	69.314	169.586	.000
29	20.200	29.824	41.125	125.550	16.355	66.762	86.962	.000	.000	131.014	.000
30	.300	22.838	28.953	175.800	.000	.000	.300	.000	.000	102.060	.000
31	.000	21.862	23.214	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	78.846	.000
32	2.000	19.979	17.934	238.700	.000	.000	2.000	.000	.000	60.913	.000
33	42.500	18.214	13.461	218.400	35.589	.000	42.500	.000	.000	47.451	.000
34	42.300	21.427	10.793	136.400	23.834	.000	32.389	9.911	.000	36.658	.000
35	386.400	37.129	32.951	96.900	68.302	.000	96.900	34.511	57.837	210.770	.000
36	287.200	44.881	97.360	79.360	64.078	.000	79.360	32.271	133.199	248.129	.000
37	229.700	50.817	166.447	77.190	60.643	.000	77.190	16.201	133.586	249.875	.000
38	238.500	40.799	139.458	67.480	51.208	.000	67.480	29.691	136.431	265.102	.000

39	284.500	59.214	240.591	75.640	59.683	.000	75.640	21.651	132.817	245.025	.000
40	77.500	32.225	66.106	92.700	57.688	25.519	92.607	6.411	103.793	208.076	.000
41	69.300	30.838	54.139	125.550	65.433	49.376	125.022	.000	47.615	160.805	.000
42	.000	23.118	36.052	175.800	.000	47.100	47.100	.000	.000	125.268	.000
43	.000	21.427	28.492	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	96.775	.000
44	.000	19.690	22.012	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	74.764	.000
45	74.700	20.596	17.975	218.400	34.511	.965	43.132	.000	3.169	85.187	.000
46	88.100	25.481	19.577	136.400	19.134	3.169	30.658	34.511	2.830	88.880	.000
47	196.500	47.917	34.858	96.900	79.235	.000	96.900	18.361	17.392	155.210	.000
48	290.700	77.891	53.793	79.360	64.778	.000	79.360	26.831	76.911	244.767	.000
TOT	6029.001	1823.470	2972.182	6379.479	1903.341	490.719	2855.978				.000

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO
 FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 35.1
 FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 1.376E+03
 FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 1.96
 FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 212.

VALOR OTIMO DOS PARAMETROS
 RSPX RSSX RSBX RSBF IMAX IMIN IDEC ASP ASS ASB PRED
 CEVA CHET
 34.51 137.7 280.3 .0000 111.7 77.91 .2569 .0000 3.0105E-038.3246E-03 999.0 .9758
 .4747

Valor otimo da funcao-objetivo = 1375.8540

APÊNDICE IV – RESULTADOS DO AJUSTE DA FUNÇÃO MÍNIMOS

MODHAC : RESULTADOS OBTIDOS
 PARAMETROS USADOS NESTA SIMULACAO
 RSPX= 51.4463 RSSX= 143.2988 RSBX= 273.3391 RSBF= .0000
 IMAX= 113.3962 IMIN= 60.9262 IDEC= .2444 ASP = .0000
 ASS = .0042 ASB = .0168 PRED= 999.0000 CEVA= .7150
 CHET= .9999

	CHUVA	VAZAO	VAZAO	EVAPOTRANSPIRACOES				UMIDADES			
INFILTRACAO											
	OBS	CAL	POTENCIAL	SUPERFICIE	SUBSOLO	TOTAL	SUPERFICIE				
SUBSOLO	AQUIFERO	PROFUNDA									
1	153.400	47.777	33.883	77.190	54.772	.000	77.190	39.996	126.861	28.768	.000
2	105.000	47.674	33.612	67.280	49.861	.000	67.280	39.026	113.993	46.714	.000
3	298.800	68.335	82.479	75.640	45.163	.000	75.640	51.446	136.473	152.495	.000
4	197.200	51.700	96.839	92.700	69.072	.000	92.700	47.126	137.955	162.994	.000
5	9.500	46.474	80.787	125.550	52.077	62.484	119.110	.000	60.920	96.758	.000
6	.000	28.302	39.838	175.800	.000	59.427	59.427	.000	.000	58.413	.000
7	.000	26.350	23.737	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	34.676	.000
8	.000	23.454	14.091	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	20.585	.000
9	.000	19.895	8.158	218.400	.000	.000	.000	.000	.000	12.427	.000
10	70.600	28.666	5.050	136.400	40.201	.000	65.800	4.800	.000	7.377	.000
11	381.300	41.752	34.791	96.900	49.454	.000	95.240	51.386	43.861	168.199	.000
12	145.300	37.787	80.452	79.360	56.322	.000	79.360	51.446	45.124	152.363	.000
13	492.400	63.413	224.332	77.190	34.954	.000	77.190	46.466	141.495	251.851	.000
14	143.700	41.715	121.837	67.480	39.072	.000	67.480	51.446	136.784	205.966	.000
15	457.400	83.392	316.505	75.640	15.525	.000	75.640	51.446	142.695	265.309	.000
16	136.000	61.367	131.737	92.700	63.372	.000	92.700	42.616	138.539	189.858	.000
17	23.700	48.356	92.351	125.550	57.117	54.176	120.493	.000	69.163	112.706	.000
18	.000	32.365	46.575	175.800	.000	67.253	67.253	.000	.000	68.041	.000
19	.000	28.666	27.650	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	40.391	.000
20	.000	25.626	16.414	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	23.978	.000
21	28.400	25.360	9.502	218.400	5.241	.000	28.400	.000	.000	14.475	.000
22	156.300	30.693	9.611	136.400	42.502	.000	67.900	47.046	3.322	42.897	.000
23	131.100	29.983	18.929	96.900	70.362	.000	96.900	51.446	5.207	51.883	.000
24	201.600	43.868	48.760	79.360	47.543	.000	79.360	48.886	17.152	115.979	.000
25	233.100	44.592	70.922	77.190	50.592	.000	77.190	46.466	44.215	176.324	.000
26	198.600	47.861	87.247	67.480	38.563	.000	67.480	44.216	61.884	204.778	.000
27	94.100	49.514	102.451	75.640	49.542	.000	75.640	28.526	60.094	138.267	.000
28	41.100	32.365	61.597	92.700	62.547	18.603	88.229	.000	34.689	83.472	.000
29	20.200	29.824	35.276	125.550	12.101	33.333	53.533	.000	.000	49.552	.000
30	.300	22.838	19.637	175.800	.000	.000	.300	.000	.000	29.915	.000
31	.000	21.862	12.156	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	17.758	.000
32	2.000	19.979	7.216	238.700	.000	.000	2.000	.000	.000	10.542	.000
33	42.500	18.214	4.178	218.400	27.941	.000	42.500	.000	.000	6.364	.000
34	42.300	21.427	2.586	136.400	19.001	.000	34.700	7.600	.000	3.778	.000
35	386.400	37.129	42.765	96.900	39.525	.000	96.900	51.446	42.574	164.093	.000
36	287.200	44.881	121.742	79.360	49.103	.000	79.360	49.206	102.517	192.487	.000
37	229.700	50.817	132.699	77.190	43.223	.000	77.190	33.136	133.340	197.546	.000

38	238.500	40.799	134.739	67.480	34.753	.000	67.480	46.626	141.495	212.181	.000
39	284.500	59.214	241.895	75.640	45.202	.000	75.640	38.586	136.230	192.451	.000
40	77.500	32.225	93.193	92.700	66.797	6.814	92.460	23.346	113.986	121.782	.000
41	69.300	30.838	62.198	125.550	71.798	29.537	122.184	.000	71.738	72.294	.000
42	.000	23.118	30.697	175.800	.000	69.691	69.691	.000	.000	43.644	.000
43	.000	21.427	17.736	210.800	.000	.000	.000	.000	.000	25.909	.000
44	.000	19.690	10.528	238.700	.000	.000	.000	.000	.000	15.380	.000
45	74.700	20.596	7.190	218.400	35.500	.000	46.979	15.946	.492	19.473	.000
46	88.100	25.481	8.032	136.400	28.147	.486	46.232	51.446	.174	18.128	.000
47	196.500	47.917	35.009	96.900	63.733	.000	96.900	35.296	11.149	87.894	.000
48	290.700	77.891	70.505	79.360	48.643	.000	79.360	43.766	50.222	181.185	.000
TOT	6029.001	1823.470	3010.116	6379.479	1579.320	401.804	2897.009				.000

VALORES DAS FUNCOES-OBJETIVO

FUNCAO-OBJETIVO MINIMOS QUADRADOS = 29.3

FUNCAO-OBJETIVO MODULADA = 1.550E+03

FUNCAO-OBJETIVO VALOR ABSOLUTO = 2.26

FUNCAO-OBJETIVO LOGARITIMICA = 444.

VALOR OTIMO DOS PARAMETROS

RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED
CEVA	CHET									
51.45	143.3	273.3	.0000	113.4	60.93	.2444	.0000	4.2224E-031.6822E-02	999.0	.7150
.9999										

Valor otimo da funcao-objetivo = 29.288380

APÊNDICE V – PARÂMETROS ENTRADA

'Rio SONO'
 'Calibração vazão mensal'
 18500.
 'Período: 011996 a 121999'
 'diário'
 'mensais'
 'CHUVA.prn'
 'ETPDIA.prn'
 'VAZAOB.prn'
 'VAZAOABSOLUTO.SAI'
 1509 48

10. 200. 200. .0 100. 20. .5 .0 0.1 0.1 999. .5 .8
 0. 0. 0. .0 0. 0. .0 .0 0. 0. 0. -1. .0
 100. 500. 500. .0 500. 100. 1. .0 1. 1. 0. 1. 1.
 1. 10. 10. .0 10. 10. .01 .0 .01 .01 0. .1 .1
 .001 .001 .001 .0 .001 .001 .001 0. .001 .001 0. .001 .001

0

1

0, 30000, 30001, 0.001, 3, 0
 0. 150. 10.0 0 0
 0. 0.

APÊNDICE VI – RESULTADOS DO AJUSTE DAS SIMULAÇÕES

MODHAC: RESULTADOS OBTIDOS
 PARAMETROS USADOS NESTA SIMULACAO
 RSPX= 10.0000 RSSX= 200.0000 RSBX= 200.0000 RSBF= .0000
 IMAX= 100.0000 IMIN= 20.0000 IDEC= .5000 ASP = .0000
 ASS = .1000 ASB = .1000 PRED= 999.0000 CEVA= .5000
 CHET= .8000

	CHUVA	VAZAO	VAZAO	EVAPOTRANSPIRACOES				UMIDADES			
INFILTRACAO											
	OBS	CAL	POTENCIAL	SUPERFICIE	SUBSOLO	TOTAL	SUPERFICIE				
SUBSOLO	AQUIFERO	PROFUNDA									
1	42.000	-139.968	10.323	218.400	10.000	1.015	22.663	3.976	.000	5.039	.000
2	95.300	-144.634	28.126	136.400	41.916	2.471	62.987	.000	.000	13.201	.000
3	95.800	-139.968	50.056	96.900	21.878	2.610	39.992	10.000	.104	8.850	.000
4	188.700	-144.634	85.481	79.360	36.792	.463	53.639	10.000	8.147	50.387	.000
TOT	421.800	.000	173.985	531.060	110.586	6.558	179.280				.000

