



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II – CAMPINA GRANDE

**APLICAÇÃO DO MODELO KWM-KENTUCKY WATERSHED MODEL-
EM BACIAS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL**

JOSE VICENTE FERREIRA NETO

CAMPINA GRANDE

JULHO/1995

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**APLICAÇÃO DO MODELO KWM - KENTUCKY WATERSHED MODEL -
EM BACIAS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL**

por

JOSÉ VICENTE FERREIRA NETO

Campina Grande - PB

Julho / 1995

JOSÉ VICENTE FERREIRA NETO

**APLICAÇÃO DO MODELO KWM - KENTUCKY WATERSHED MODEL -
EM BACIAS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de
**MESTRADO EM ENGENHARIA
CIVIL** da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências
para obtenção do Grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Recursos Hídricos

Ph.D. VAJAPEYAM S. SRINIVASAN

Msc. RAIMUNDO SÉRGIO SANTOS GOIS

Orientadores

Campina Grande - PB

Julho / 1995



F383a Ferreira Neto, José Vicente.
Aplicação do modelo KWM - Kentucky Watershed Model - em
bacias da região semi-árida do nordeste do Brasil / José
Vicente Ferreira Neto. - Campina Grande, 1995.
172 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 1995.

Referências.

"Orientação : Prof. Dr. Vajapeyam S. Srinivasan, Prof.
M.Sc. Raimundo Sérgio Santos Gois".

1. Bacias Hidrológicas - Nordeste - Brasil. 2. Região
Semi-árida - Brasil. 3. Modelo KWM - Kentucky Watershed
Model. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Srinivasan,
Vajapeyam S. II. Gois, Raimundo Sérgio Santos. III.
Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV.
Título

CDU 556.51(043)

JOSE VICENTE FERREIRA NETO

**APLICAÇÃO DO MODELO KWM - KENTUCKY WATERSHED MODEL -
EM BACIAS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL**

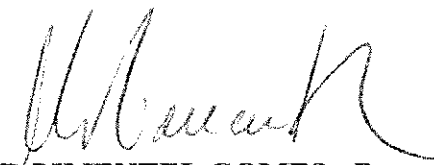
Dissertação aprovada em: 21 de julho de 1995


ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS


VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN - Ph.D

Presidente - Orientador


RAIMUNDO SERGIO SANTOS GOIS - MSc.
Orientador


HEBER PIMENTEL GOMES - Doutor
Examinador interno


VICENTE LÚCIO LOPES - Ph.D
Examinador externo (UNIVERSIDADE DE ARIZONA, EEUU)

CAMPINA GRANDE - PB

Julho / 1995

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, pela compreensão que tiveram por parte do tempo que foi dedicada ao trabalho e que a eles pertencia.

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas envolvidas nesse trabalho de pesquisa, algumas delas colaborando direta ou indiretamente, outras incentivando sua elaboração.

Aos professores Vajapeyam S. Srinivasan e Raimundo Sérgio S. Gois pela paciência e dedicação como orientadores.

À SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, pelo material fornecido do Banco de Dados Hidrometeorológicos do Nordeste.

Aos amigos professores Abel Tenório Cavalcante e Carlos Alberto Marques dos Anjos, pelo incentivo e apoio fornecidos através da Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas - PROPEP/UFAL.

Agradecimento especial aos colegas e amigos Carlos Maurício Rocha Barroso e Paulo Lima Lopes, pelo convívio ao longo do curso.

Aos meus pais, minha esposa, meus filhos, familiares e amigos, pela compreensão e incentivo nos momentos mais difíceis do trabalho.

Finalmente, agradeço a todos os docentes, funcionários e alunos da área de Engenharia de Recursos Hídricos da Universidade Federal da Paraíba, Campus II - Campina Grande, que participaram de alguma forma desse estudo.

RESUMO

Os modelos hidrológicos determinísticos de simulação contínua são ferramentas essenciais tanto para estimar as vazões de escoamento em uma secção qualquer da bacia, como para quantificar os processos componentes do ciclo hidrológico.

Neste trabalho, foi utilizada a versão KWM da Universidade de Kentucky do modelo Stanford Watershed Model (SWM-IV), objetivando a determinação do melhor conjunto de parâmetros do modelo aplicado em seis bacias do semi-árido nordestino: três na bacia hidrológica representativa de Sumé/PB e três na bacia do Riacho do Navio/PE.

A calibração do modelo é feita por tentativa e erro, para cada ano hidrológico, em todas as sub-bacias estudadas. Os problemas observados nesta fase do trabalho, bem como as exigências do modelo relativas aos dados de entrada, são exaustivamente discutidos.

Na análise de sensibilidade do modelo aqui desenvolvida, procurou-se definir faixas de valores para cada parâmetro associado às características físicas das bacias estudadas e detectar erros sistemáticos devido aos dados de entrada ou à estrutura do modelo.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a aplicação do modelo KWM em bacias hidrográficas do semi-árido nordestino requer dados representativos das variações temporais e espaciais da precipitação em cada zona ou segmento com características homogêneas relativas ao relevo, solo, geologia e vegetação, além das vazões de saída em cada um desses segmentos.

ABSTRACT

The deterministic hydrologic models of continuous simulation are essential tools such as estimating streamflow at any watershed section, as accounting all hydrologic cycle process.

The Kentucky University version model (KWM) of the Stanford Watershed Model (SWM-IV) was used in this study with the objective to obtain the best-fit model parameters when applied in six watersheds of the Brazilian Northeast semi-arid region: tree sub-basin of the representative hydrologic watershed Sumé/PB and the others in the watershed Riacho do Navio/PE.

Model calibration was done by trial and error, in each hydrological year individually, for all sub-basin. The problems observed in this study phase and the input data model requirements are exhaustively discussed.

The sensitivity analysis of the model has been done to define value intervals for each parameter associated to the physical watershed characteristics, and to detect systematic errors due to input data or model structure.

The results of this study show that KWM model application in hydrological catchments of the Brazilian Northeast semi-arid region, requires input data that represent time and spatial variations of the precipitation in each topography, soil, geology and vegetation homogeneous zone.

ÍNDICE

	Página
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	xi
Capítulo	
I. INTRODUÇÃO	1
II. MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA	3
.Desenvolvimento dos Modelos Hidrológicos	
.O Ciclo Hidrológico	
III. O MODELO UTILIZADO.....	8
.Estrutura do Modelo	
.Operação do Modelo	
.Descrição do Modelo	
.Dados de Entrada do Modelo	
.Resultados do Modelo	
IV. BACIAS ESTUDADAS.....	31
.Bacia Hidrográfica de Sumé	
.Bacia Hidrográfica do Riacho do Navio	
V. CALIBRAÇÃO DO MODELO E SIMULAÇÕES.....	47
.Parâmetros do Modelo	
.Parâmetros Calibráveis do Modelo	
.Faixas de Variação dos Parâmetros Estimados por Tentativa e Erro	
.Opções de Controle para a Simulação	
.Aplicação do modelo para as bacia de Sumé e do Riacho do Navio	
.Análise de Sensibilidade do Modelo	

VI. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
.Análise do modelo KWM	
.Análise dos resultados na bacia de Sumé	
.Análise dos resultados na bacia do Riacho do Navio	
VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
.Conclusões	
.Recomendações	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	89

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
3.1 - Valores da taxa máxima de intercepção vegetativa	13
3.2 - Parâmetro de evapotranspiração da zona inferior do solo	15
3.3 - Equações para cálculo das parcelas de infiltração	17
4.1 - Parâmetros físicos da Bacia de Sumé	39
4.2 - Parâmetros físicos da Bacia do Riacho do Navio	46
5.1 - Parâmetros de recessão	50
5.2 - Parâmetros de transporte nos canais	51
5.3 - Faixas de variação dos parâmetros do modelo	55
5.4 - Calibragem do modelo para a Bacia de Sumé	61
5.5 - Simulações com os valores médios dos parâmetros - Bacia de Sumé	62
5.6 - Calibragem do modelo para a Bacia do Riacho do Navio	63
5.7 - Simulações com os valores médios dos parâmetros - Riacho do Navio	64
5.8 - Análise de sensibilidade do modelo	65

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1 - Representação pictórica do ciclo hidrológico	06
2.2 - Ciclo hidrológico visto como um sistema	07
3.1 - Fluxograma do modelo	10
3.2 - Algoritmo de cálculo do modelo KWM	11
3.3 - Variação da oportunidade de evapotranspiração	15
3.4 - Modelo de infiltração	17
3.5 - Gráfico da variação de "b" em função da taxa de umidade do solo.....	18
3.6 - Gráfico da variação de "c" em função da taxa de umidade do solo	18
3.7 - Relação entre infiltração retardada e taxa de umidade do solo na zona superior	19
3.8 - Percentagem de infiltração para o armazenamento subterrâneo em função da taxa de umidade do solo	21
4.1 - Mapa de localização das Bacias de Sumé e do Riacho do Navio.....	32
4.2 - Elementos meteorológicos da Bacia de Sumé	33
4.3 - Isoietas médias anuais da Bacia de Sumé	34
4.4 - Relevo da Bacia de Sumé	35
4.5 - Drenagem da Bacia de Sumé	36
4.6 - Esboço geológico da Bacia de Sumé	37
4.7 - Pedologia da Bacia de Sumé	38
4.8 - Elementos meteorológicos da Bacia do Riacho do Navio	40
4.9 - Isoietas médias anuais da Bacia do Riacho do Navio	41
4.10 - Relevo da Bacia do Riacho do Navio	42

4.11 - Drenagem da Bacia do Riacho do Navio	43
4.12 - Mapa geológico da Bacia do Riacho do Navio	44
4.13 - Pedologia da Bacia do Riacho do Navio	45
6.1 - Histogramas de lâminas mensais escoadas Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados originais.....	73
6.2 - Hidrogramas diários observado e simulado Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados originais.....	74
6.3 - Histogramas de lâminas mensais escoadas Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados ajustados.....	74
6.4 - Hidrogramas diários observado e simulado Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados ajustados.....	75
6.5 - Histograma de lâminas mensais escoadas Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados originais.....	77
6.6 - Hidrogramas diários observado e simulado Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados originais.....	78
6.7 - Histograma de lâminas mensais escoadas Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados ajustados.....	78
6.8 - Hidrogramas diários observado e simulado Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados ajustados.....	79

LISTA DE ANEXOS

Anexo	Página
1. SIMULAÇÃO NA BACIA DE SUMÉ	89
.Simulação com os parâmetros estimados ano a ano:	
Histogramas de lâminas médias diárias escoadas	
Hidrogramas diários observados e simulados	
.Simulação com os valores médios dos parâmetros:	
Histogramas de lâminas médias diárias escoadas	
Hidrogramas diários observados e simulados	
2. SIMULAÇÃO NA BACIA DO RIACHO DO NAVIO	118
.Simulação com os parâmetros estimados ano a ano:	
Histogramas de lâminas médias diárias escoadas	
Hidrogramas diários observados e simulados	
.Simulação com os valores médios dos parâmetros:	
Histogramas de lâminas médias diárias escoadas	
Hidrogramas diários observados e simulados	
3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO EM SUMÉ/Pb	143
.Gráficos Estatísticas X Parâmetros	
.Histogramas de lâminas médias diárias escoadas	
.Hidrogramas diários observados e simulados	
.Diagramas de dispersão $Q_S \times Q_O$	
4. EXEMPLOS DE SAÍDAS DO MODELO EM SUMÉ/Pb	166
.Saídas do modelo referentes ao melhor ano simulado em cada sub-bacia de Sumé	

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A região semi-árida do Nordeste se destaca pela escassez e pelo mal aproveitamento da água, principais causas do sub-desenvolvimento regional.

O semi-árido do Nordeste do Brasil, também conhecido como "Polígono das secas", é marcado por baixos índices pluviométricos, 400 a 800 mm por ano, cujas precipitações são bastantes irregulares no tempo e no espaço, além de apresentar taxas de evaporação que variam de 2.200 a 3.200 mm por ano.

Em 1973, a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE iniciou estudos, de forma planejada e sistemática, dos recursos de água de pequenas bacias da região através do "Programa de Estudo de Bacias Hidrográficas Representativas e Experimentais do Nordeste Brasileiro", com o objetivo de identificar zonas hidrológicas homogêneas, segundo os critérios de precipitação, permeabilidade, relevo e altitude. Dando-se prioridade ao semi-árido nordestino, foram então definidas as bacias hidrológicas representativas da região, monitoradas em torno de sete anos, gerando o Banco de Dados Hidro-meteorológicos da SUDENE, com dados referentes a pluviografia, pluviometria e descarga média diária, e relatórios com as características físico-climáticas das bacias estudadas.

Esse trabalho da SUDENE desencadeou uma série de estudos e pesquisas com finalidades diversas tais como: racionalização de recursos hídricos superficiais de pequenas bacias; estudos de evapotranspiração e de consumo hídrico de plantas; estudos de irrigação a partir de pequenos açudes; estudos de erosão e conservação do solo; etc. (CADIER, LANNA, MENEZES & CAMPELLO, 1987).

Nos últimos anos, grande parte dos estudos e pesquisas realizados passaram a utilizar os modelos hidrológicos como instrumento indispensável ao melhor entendimento do comportamento hidrológico das pequenas bacias do semi-árido nordestino. Diversos trabalhos utilizando modelos chuva-vazão e operando em intervalo de tempo diário são citados por CADIER et alii (1987).

As características peculiares dos processos hidrológicos no semi-árido do Nordeste requerem a utilização de modelos específicos com operação em

intervalo de tempo preferencialmente horário e nunca superior a 24 horas, que forneçam o entendimento e a quantificação dos fenômenos componentes de todo o ciclo hidrológico.

Assim sendo, o presente estudo tem o objetivo de verificar a adequacidade do modelo hidrológico Kentucky Watershed Model - KWM adaptado às condições do semi-árido brasileiro. Para isto o modelo foi aplicado às bacias hidrológicas representativas de Sumé/PB e Riacho do Navio/PE.

Este modelo tem sido utilizado em diversas regiões do mundo com diferentes características físico-climáticas, tendo apresentado resultados satisfatórios (TUCCI, 1987).

Além desse primeiro capítulo de introdução, o trabalho se desenvolve em outros seis assim organizados:

O segundo capítulo, que trata dos modelos de simulação hidrológica, conceitua o ciclo hidrológico como um sistema e os modelos como representações simplificadas desse sistema, classificando-os, exemplificando suas aplicações na hidrologia, e mostrando sua evolução histórica.

O terceiro capítulo mostra a estrutura, operação e a descrição de todas as etapas do modelo KWM, apresentando as formulações matemáticas representativas dos processos físicos, os dados de entrada e as saídas do modelo.

No quarto capítulo são apresentadas as características físico-climáticas das bacias estudadas, além de um resumo dos parâmetros físicos das mesmas.

No quinto capítulo, além do processo de simulação e suas etapas, apresenta-se a calibragem do modelo e as opções de controle do mesmo. Apresenta-se ainda neste capítulo algumas considerações sobre a simulação em cada uma das bacias estudadas, as soluções adotadas face aos problemas ocorridos na etapa de calibragem do modelo, e os parâmetros obtidos para cada sub-bacia. A sensibilidade do modelo em relação a estes parâmetros é aqui analisada.

No sexto capítulo são discutidos os resultados obtidos e no sétimo são apresentadas as conclusões do estudo e algumas considerações em relação a trabalhos que poderão vir a serem elaborados a partir deste.

Finalizando esta dissertação, são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos contendo os gráficos referentes às simulações nas sub-bacias, os gráficos referentes à análise de sensibilidade do modelo e exemplos das diversas saídas do modelo.

CAPÍTULO II

MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

A água é um recurso natural, finito e renovável através dos fenômenos que compõem o ciclo hidrológico, distribuindo-se irregularmente no tempo e no espaço em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas.

Os fenômenos componentes do ciclo hidrológico, como a precipitação, evaporação, infiltração, escoamentos, etc, dependem de um grande número de fatores, e o processo físico pelo qual a precipitação se transforma em escoamento nos cursos que drenam a bacia é bastante complexo. Os hidrólogos têm utilizado os avanços tecnológicos atuais, particularmente da área de informática, para simular esses fenômenos naturais, o que tem contribuído para o desenvolvimento dos modelos hidrológicos de simulação.

Os modelos, de uma maneira geral, classificam-se em: físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos assemelham os protótipos, em geral, em escala reduzida, baseados na teoria da semelhança. Os modelos analógicos buscam a analogia entre as equações que governam diferentes fenômenos para representar, no sistema mais conveniente, o fenômeno mais complexo, como por exemplo: a analogia entre as equações do escoamento em rios e canais e as equações de um circuito elétrico. Os modelos matemáticos procuram representar a natureza do sistema através de equações matemáticas. São também chamados de digitais face ao uso de computadores para solução das equações envolvidas, (CHOW, 1964).

Os modelos matemáticos podem ser classificados em:

- Estocásticos e determinísticos, quando as variáveis envolvidas no processo são ou não aleatórias.
- Conceitual e empírico, conforme as funções utilizadas considerem ou não os processos físicos correspondentes.
- Concentrado e distribuído, sendo concentrado quando as variáveis e os parâmetros são globais para a bacia como um todo, e distribuído quando a variação espacial deles dentro da própria bacia é considerada no modelo.
- Linear e não linear, se as propriedades de superposição e homogeneidade das

funções são ou não satisfeitas.

-Contínuo e discreto, caso os fenômenos sejam contínuos no tempo ou se as mudanças de estado ocorrem em intervalos discretos.

Sendo objetivo da hidrologia a compreensão completa das diversas fases do ciclo hidrológico, os modelos foram desenvolvidos buscando retratar o comportamento físico da bacia através da simulação dos diversos processos envolvidos na transformação da precipitação em vazão. Esses modelos, ditos "modelos precipitação-vazão", têm como principais aplicações:

-Um melhor entendimento de influências dos diversos componentes do ciclo hidrológico, podendo verificar a faixa das variações para bacias com diferentes características, avaliar as diferentes representações matemáticas para cada processo físico considerado, ou mesmo testar a eficácia de novas formulações matemáticas.

-Extensão de séries de dados fluviométricos.

-Estudo de mudanças em bacias hidrográficas, e a verificação de alterações no rio e na bacia.

-Dimensionamento de obras hidráulicas, através da determinação das vazões no local.

-Previsão de cheias e operação de reservatórios.

2.1 - DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS

Os hidrólogos sempre se preocuparam em explicar o processo de circulação da água na natureza. No início, se basearam nos princípios da observação e da experimentação buscando quantificar as diversas fases do ciclo hidrológico.

Face às dificuldades de cálculo, as primeiras formulações matemáticas desenvolvidas com base na análise racional, e não mais no empirismo até então predominante, eram bastante simplificadas e pouco explicavam sobre o processo de transformação chuva-vazão. CONEJO (1983), cita como exemplos a fórmula racional (Mulvany, 1851); o hidrograma unitário (Sherman, 1932); e os diagramas co-axiais (Kohler, 1944).

Com o surgimento dos computadores a partir da segunda metade do século atual, tornou-se possível o desenvolvimento de solução integrada das diversas fases do ciclo hidrológico, de forma contínua, utilizando as equações empíricas desenvolvidas até então para os processos físicos de transferência d'água. Surgiram

então, os primeiros modelos propriamente ditos, denominados "modelos de simulação hidrológica". Pioneiramente cita-se o modelo SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation), desenvolvido entre 1956 e 1958 pelo U.S. CORPS OF ENGINEERS com o objetivo de servir a usos operacionais e previsões diárias de vazões. Em seguida surgiu o SWM (Stanford Watershed Model), desenvolvido em 1960 por CRAWFORD E LINSLEY, na Universidade de Stanford, USA. Buscavam, esses hidrólogos, um modelo geral de análise contínua dos regimes hidrológicos. As relações existentes foram aprimoradas para melhor representar os processos físicos envolvidos, através de métodos experimentais e de estudos analíticos auxiliados pelo uso do computador. A pesquisa estendeu-se por seis anos, surgindo as versões II, III e finalmente a versão SWM IV, em 1966.

Esses modelos citados proliferaram principalmente nas Universidades, com modificações de alguns algoritmos básicos. VIESSMAN, LEWIS E KNAPP (1989) citam como exemplos: o KWM (Kentucky Watershed Model), versão revisada e melhorada por JAMES (1970), em linguagem FORTRAN IV, do modelo SWM IV originalmente desenvolvido em linguagem BALGOL; o OPSET, modelo auto-calibrável, cujo objetivo é determinar o melhor conjunto (Optimum SET) de parâmetros do modelo KWM, também desenvolvido na Universidade de Kentucky/USA, por LIOU (1970); e o modelo TWM (Texas Watershed Model), versão modificada do SWM por CLABORN e MOORE (1970). Existem ainda outras versões do modelo SWM IV, tais como: a versão da Universidade de Ohio, desenvolvida por RICCA (1972); o modelo NWSRFS (U.S. National Weather Service River Forecast System), desenvolvido por MONRO e ANDERSON (1974); e ainda uma versão explorada comercialmente, desenvolvida por CRAWFORD (1971) para a firma HYDROCOMP, de Palo Alto, Califórnia.

Além desses, VIESSMAN et alii (1989) citam outros modelos que seguiram linhas diferentes: API Model (Antecedent Precipitation Index) desenvolvido por SITTNER et alii (1969); HEC-1 Flood Hydrograph Package (U.S. Army, 1973); USDAHL Model, do Department of Agriculture, Plant Physiology Institute, desenvolvido por HOLTAN e LOPEZ (1973), etc.

No Brasil citam-se as versões do modelo IPH desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (TUCCI, 1987).

Todos os modelos citados retratam condições médias na bacia, tendo

como objetivo principal a qualidade do hidrograma de saída. Portanto, os fenômenos físicos componentes do ciclo hidrológico são representados por formulações matemáticas baseadas em parâmetros empíricos que possuem somente uma relação qualitativa com as características físicas da bacia.

2.2 - O CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico (figura 2.1), pode ser entendido como uma série de reservatórios, representativos dos diversos armazenamentos, onde a transferência d'água entre eles é representada por suas respectivas equações matemáticas ou funções-transformação.

Essa forma de "visualizar" o ciclo hidrológico tem dado origem aos diversos modelos de simulação hidrológica.

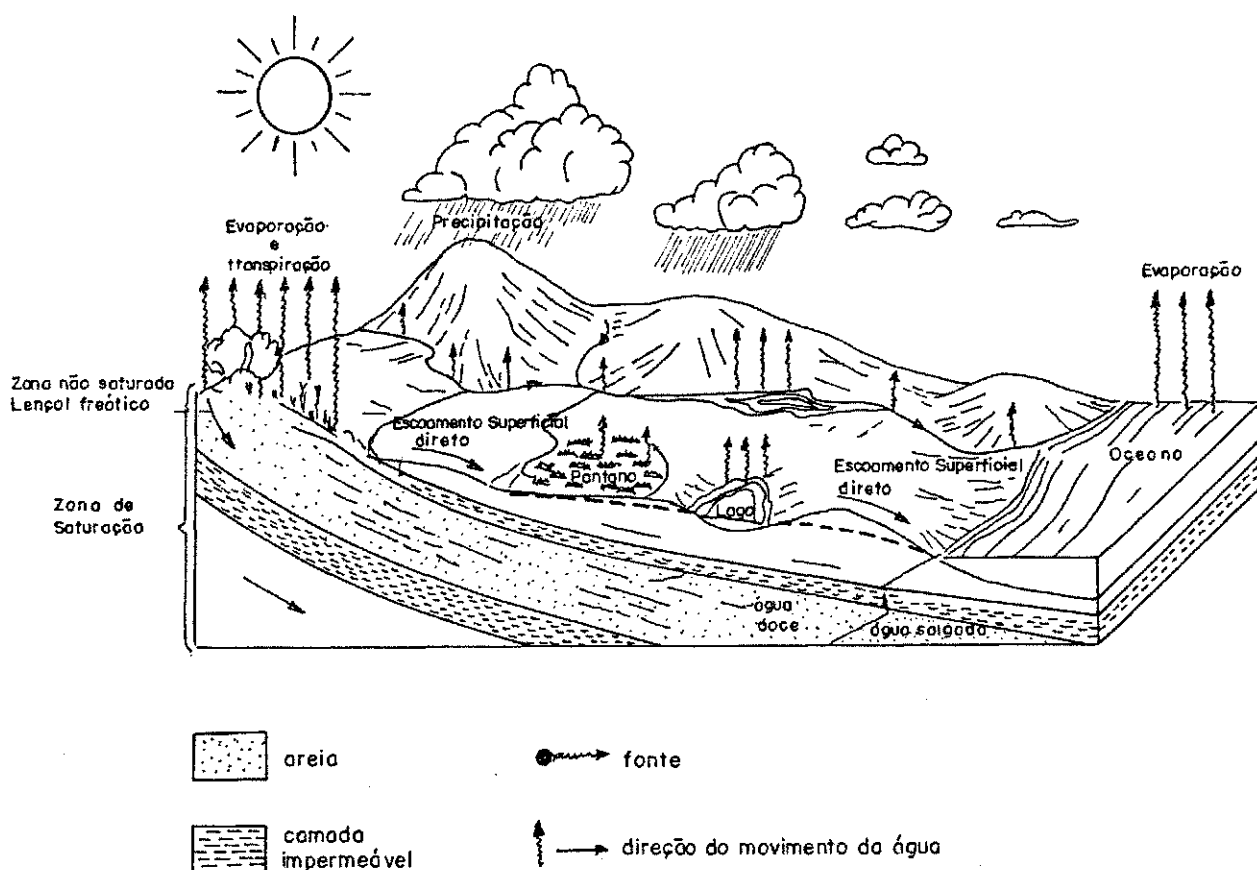


Figura 2.1 - Representação pictórica do ciclo hidrológico
Fonte: PORTO (1983)

CAPÍTULO III

O MODELO UTILIZADO

Foi utilizada neste trabalho uma versão do modelo KWM (Kentucky Watershed Model), que tem por base a estrutura do modelo desenvolvido pela Universidade de Stanford/EUA, o SWM-IV.

É um dos modelos matemáticos mais completos, representando praticamente todos os processos envolvidos no ciclo hidrológico: evaporação; transpiração; escoamentos superficial, hipodérmico e básico; infiltração; percolação; armazenamentos na superfície, nas zonas superior e inferior do solo, na zona capilar e o armazenamento subterrâneo.

O modelo KWM envolve um grande número de parâmetros e variáveis cujos valores estão associados às características físicas e morfológicas da bacia e às condições climáticas da região como: temperatura, vento, insolação, etc.

A eficácia das rotinas de estimativa desses parâmetros depende principalmente da disponibilidade de dados históricos de extensão e qualidade adequadas à calibração do modelo. Segundo LIOU (1970), três anos de dados históricos de boa qualidade são suficientes para se chegar a resultados satisfatórios com este modelo porém, quanto maior for a série histórica disponível, mais precisos serão os resultados apresentados.

O grande número de aplicações dos modelos SWM-IV e KWM em pesquisas e estudos realizados em várias regiões do mundo, tem possibilitado a definição das faixas de variação dos seus parâmetros calibráveis, bem como a associação destes com as características físicas e climáticas dessas regiões estudadas (ROSS, 1970).

3.1 - ESTRUTURA DO MODELO

O modelo SWM-IV, base da versão do modelo KWM utilizada neste trabalho, foi desenvolvido por CRAWFORD e LINSLEY (1966), e procura retratar o

comportamento da bacia hidrográfica, conhecido qualitativamente através dos processos físicos que nela ocorrem, desde a precipitação até a geração das vazões de escoamento. A resposta global da bacia é dividida em componentes individuais, cada um representando um processo hidrológico descrito por uma expressão analítica, seja empírica ou de fundamentação teórica.

Esse modelo quantifica todos os componentes do ciclo, armazenamentos e funções de transferência de água, mostrando-os isoladamente e permitindo assim um estudo dos mesmos em um intervalo de tempo pré-estabelecido.

A modelagem através do KWM, assim como do SWM-IV, é feita em toda a fase terrestre do ciclo hidrológico, utilizando um processo de controle do movimento da água no solo para simular vazões contínuas a partir de dados climatológicos, das características físicas da bacia e de parâmetros estimados para a bacia.

O modelo possui duas estruturas básicas: a **fase solo**, onde se calcula o escoamento na entrada do canal ou contribuição lateral, através de um balanço hídrico contínuo em intervalos de 15 minutos, em termos de lâmina d'água; e o **sistema de canais** onde se processa a translação e o amortecimento das vazões de entrada no canal, ou seja: a propagação (routing) das ondas de cheia.

Neste modelo, a bacia é representada por um conjunto de "segmentos" e "pontos de controle". Em cada segmento é admitida a homogeneidade espacial da precipitação e dos processos hidrológicos que ocorrem naquele segmento da bacia, permitindo assim separar as áreas segundo o critério de distribuição espacial da precipitação e das características físicas como cobertura vegetal, tipo de solo, declividade, etc.

Para cada segmento é calculada a vazão resultante em cada intervalo de tempo. Tais vazões correspondem às vazões de entrada nos canais, as quais são transladadas para os "pontos de controle", definidos como pontos sobre o curso d'água principal onde se deseja determinar as vazões ao longo do tempo. Na fase de calibragem é necessário que os pontos de controle coincidam com os pontos de medição de vazão.

O fluxograma do modelo KWM, é apresentado de forma esquemática na figura 3.1, e na figura 3.2 é mostrado o seu algoritmo de cálculo elaborado com base na análise do programa computacional do modelo.

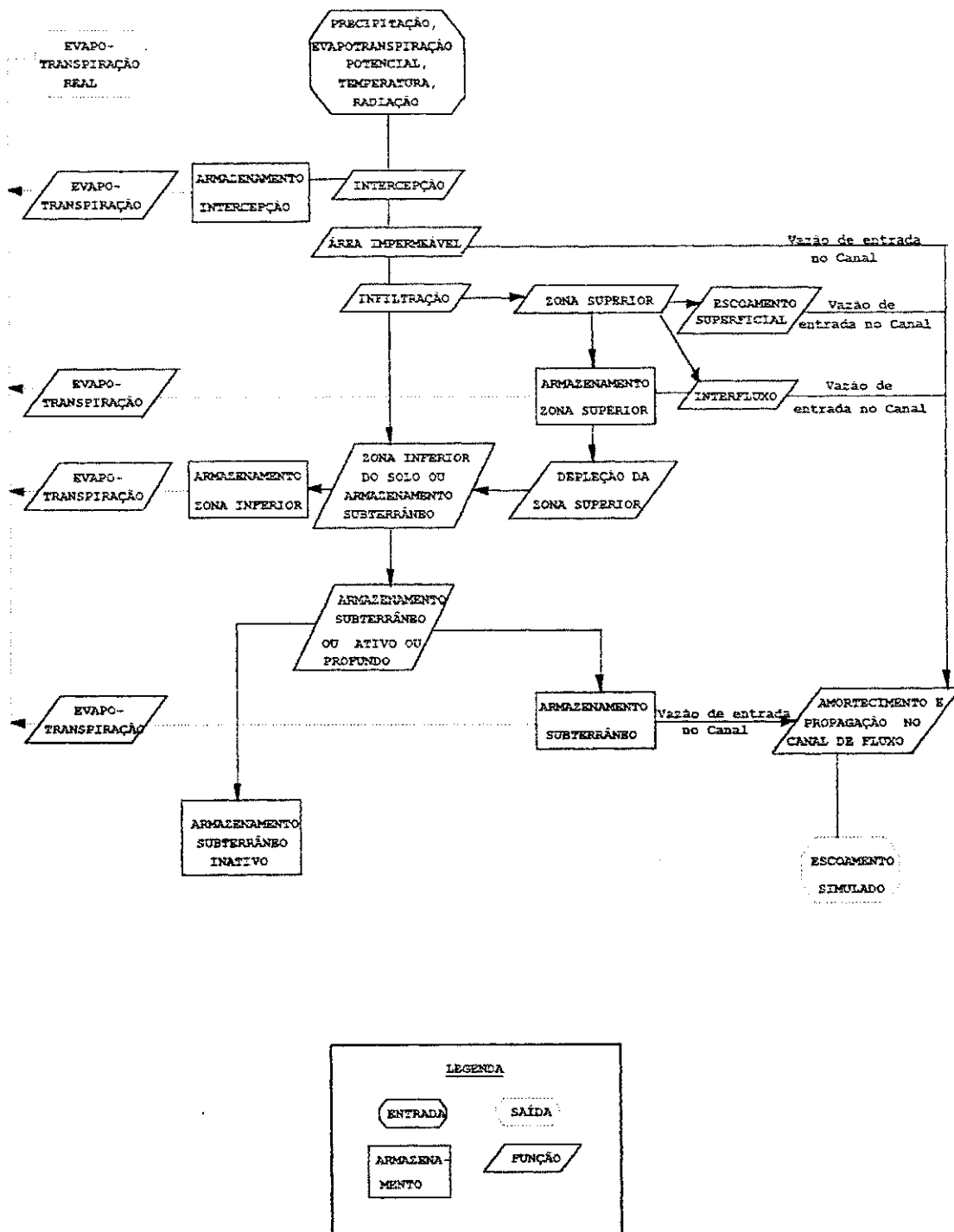


Figura 3.1 - Fluxograma do Modelo
 Fonte: CRAWFORD e LINSLEY (1966)

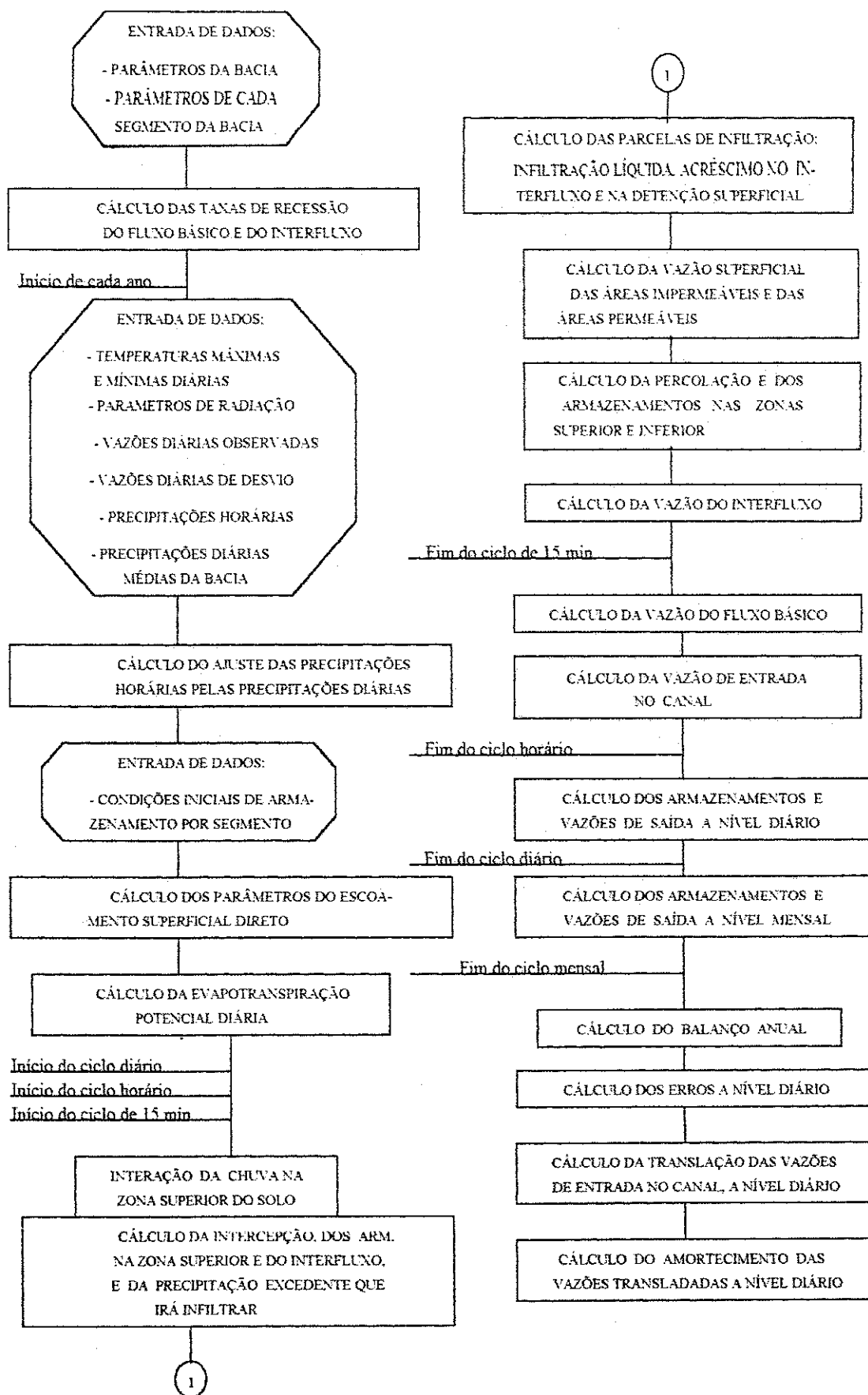


Figura 3.2 - Algoritmo de cálculo do modelo KWM

3.2 - OPERAÇÃO DO MODELO

São dados de entrada no modelo: Precipitação horária; temperaturas máximas e mínimas diárias e fatores de radiação para cálculo da evapotranspiração potencial, ou simplesmente dados de evapotranspiração; e finalmente as vazões médias diárias medidas nos pontos de controle de cada sub-bacia, utilizadas na fase de calibração do modelo.

Para efeito de cálculo, são considerados no modelo os seguintes níveis de armazenamento d'água: intercepção, incluindo os armazenamentos devido à vegetação e às depressões; zona superior do solo; zona inferior do solo; do fluxo superficial, incluindo os armazenamentos das superfícies do solo e as superfícies impermeáveis que drenam diretamente nos canais principais; sub-superficial ou do interfluxo; e subterrâneo (figura 3.1).

O movimento da água entre os níveis de armazenamento citados, ocorre através dos processos de infiltração, percolação profunda, fluxos superficial, sub-superficial e subterrâneo e fluxo no canal. Estes processos são representados no modelo através de equações existentes na literatura como também desenvolvidas ou adaptadas pelos autores do modelo original, o SWM IV.

Neste modelo, toda a água que se precipita sobre a bacia é acumulada na superfície até que evapore, infiltre ou escoe até a rede de drenagem. A vazão de entrada no canal é propagada do ponto onde ela alcança o mesmo até o ponto a jusante para o qual se pretende determinar a hidrógrafa de saída.

O movimento da água na bacia é função: das condições antecedentes de armazenamento no solo, dos valores dos parâmetros considerados nas funções de transferência, da intensidade da precipitação e da estação do ano.

Toda água inicialmente armazenada na bacia, ou nela entrando como precipitação durante um determinado intervalo de tempo, é balanceada pela equação da continuidade:

$$P = E + R + \Delta S \quad (1)$$

onde: P = precipitação

E = evapotranspiração

R = escoamento ou vazão de saída ("run off")

ΔS = variação total nos armazenamentos.

A variação em cada armazenamento é calculada como sendo a

diferença entre os volumes de entrada e de saída.

3.3 - DESCRIÇÃO DO MODELO

A versão do modelo KWM utilizada neste trabalho é composta de uma sequência de rotinas de cálculo representando os diversos processos do ciclo hidrológico. Esses processos são descritos nos itens a seguir.

3.3.1 - Intercepção e áreas impermeáveis

A intercepção é a primeira das várias abstrações modeladas pelo KWM. Considera-se que toda a precipitação é interceptada a menos que sua intensidade seja superior à taxa de intercepção, ou quando a capacidade do armazenamento por intercepção for ultrapassada.

A taxa de intercepção depende da intensidade da precipitação e da cobertura vegetal da bacia. É representada no modelo através de um parâmetro de entrada *VINTMR* (Vegetative **I**N**T**erception **M**aximum **R**ate), que considera também a intercepção nas depressões do terreno natural.

A chuva é armazenada até que seja alcançado o limite *VINTMR*, cujos valores típicos são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Valores da taxa máxima de intercepção vegetativa

Cobertura vegetal	<i>VINTMR</i> (in/h)
Campo, prado	0.10
Floresta ou mato moderados	0.15
Floresta ou mato densos	0.20

Fonte: CRAWFORD E LINSLEY (1966)

As áreas impermeáveis da bacia são retratadas no modelo por um parâmetro denominado *FIMP* (Fraction **I**MPervious) que corresponde a razão entre a área impermeável que contribui diretamente com o escoamento superficial e a área total da bacia. Não são consideradas como impermeáveis as áreas que não drenam diretamente nos rios, mesmo que sejam superfícies pavimentadas, afloramentos rochosos ou mesmo áreas urbanizadas.

3.3.2 - Evapotranspiração

Como mostrado no esquema apresentado na figura 3.1, o modelo considera a evapotranspiração dos armazenamentos por intercepção, das superfícies de lagos e rios, das zonas superior e inferior do solo, e do armazenamento subterrâneo.

A evapotranspiração do armazenamento por intercepção é considerada pelo modelo como ocorrendo à taxa potencial, sendo representada pela variável *PET* (Potential EvapoTranspiration), definida como a taxa máxima para o efeito combinado da evaporação do solo e transpiração das plantas, geralmente igualada à taxa de evaporação dos lagos, cujo valor é calculado pelo produto do coeficiente do Tanque Classe A pela evaporação medida no Tanque. O cálculo da evapotranspiração do armazenamento por intercepção é interrompido quando este armazenamento estiver se exaurido.

A evaporação das superfícies dos rios e lagos também ocorre à taxa potencial, sendo governada no modelo através do parâmetro de entrada *FWTR* (Fraction WaTeR) que representa a fração da área da bacia em lagos, rios e superfícies alagadiças.

Após o armazenamento por intercepção esvaziar, o modelo tentará satisfazer a evapotranspiração através da água acumulada na zona superior do solo, também a uma taxa potencial.

Uma vez exaurido o armazenamento da zona superior, definido pela variável *UZS* (Current Upper Zone Storage), a evapotranspiração passará a ocorrer na zona inferior do solo a uma taxa inferior a potencial. O modelo utiliza uma função denominada "oportunidade de evapotranspiração" para controlar a evapotranspiração da zona inferior, definida como a quantidade máxima de água disponível para a evapotranspiração em um determinado local durante um intervalo de tempo pré-estabelecido, (FLEMING, 1975).

No modelo a oportunidade de evapotranspiração varia sobre a bacia de zero a " *r* " segundo uma distribuição linear cumulativa, conforme mostrado na figura 3.3.

A evapotranspiração real *SET* (Current Hourly Soil Evapo-Transpiration) é obtida pela área hachurada mostrada na figura 3.3, ou seja:

$$SET = PET - PET^2 / 2r \quad (2)$$

onde a variável "*r*" é a oportunidade de evapotranspiração obtida pela equação:

$$r = ETLF \cdot LZS / LZC \quad (3)$$

sendo: *ETLF* (*EvapoTranspiration Loss Factor*) = parâmetro de evapotranspiração da zona inferior, função da cobertura vegetal da bacia e cujos valores são mostrados na tabela 3.2; *LZS* (*Current Lower Zone Storage*) = armazenamento atual da zona inferior (in); e *LZC* (*Lower Zone Storage Capacity*) = nível nominal do armazenamento (in), definido como sendo o valor médio do armazenamento da zona inferior (parâmetro de entrada).

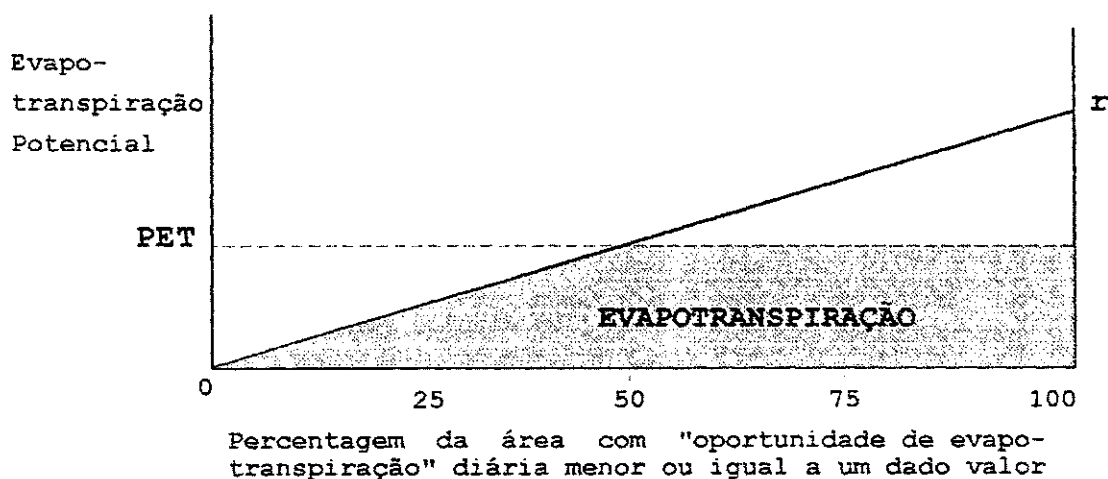


Figura 3.3 - Variação da oportunidade de evapotranspiração
Fonte: CRAWFORD e LINSLEY (1966)

Tabela 3.2 - Parâmetro de evapotranspiração da zona inferior

COBERTURA DA BACIA	<i>ETLF</i>
Solo sem cobertura	0.20
Campo, prado	0.23
Floresta aberta, moderada	0.28
Floresta densa	0.30

Fonte: CRAWFORD e LINSLEY, 1966

CRAWFORD e LINSLEY (1966), recomendam as seguintes estimativas iniciais para o parâmetro *LZC*:

a) região árida e semi-árida:

$$LZC = (1/4) \cdot P_a + 4,0 \text{ in} \quad (4)$$

b) região de clima úmido, sub-úmido ou costeira :

$$LZC = (1/8).P_a + 4,0 \text{ in} \quad (5)$$

onde P_a é a precipitação média anual em polegadas.

A razão LZS/LZC é conhecida como a taxa de umidade da zona inferior do solo e é utilizada no modelo para comparar o nível atual do armazenamento da zona inferior com sua capacidade nominal a qualquer instante.

A evapotranspiração do armazenamento subterrâneo também ocorre à taxa potencial e é calculada similarmente ao das superfícies de água, utilizando-se o parâmetro $GWETF$ (GroundWater EvapoTranspiration Factor) que representa uma superfície fictícia do armazenamento subterrâneo sujeita à evaporação. Este fator é geralmente igualado à fração da área da bacia coberta por vegetação freatófita.

3.3.3 - Infiltração

A infiltração é considerada a principal componente desse modelo hidrológico devido a sua dependência a fatores como cobertura vegetal, condições de superfície, temperatura, intensidade da chuva, propriedades físicas do solo, e ainda o próprio volume d'água armazenado no solo.

No modelo, a infiltração é calculada continuamente, avaliando dois processos: a infiltração direta nas camadas do solo; e a infiltração retardada, correspondente aos acréscimos nos armazenamentos temporários, como o das depressões que retardam a infiltração.

A água disponível no solo está sujeita aos processos que governam o fluxo direto para os armazenamentos da zona inferior e subterrâneo em períodos longos. A fração de água que permanece no armazenamento superficial após a infiltração direta, fará parte das operações do cálculo do armazenamento na zona superior.

O modelo considera a capacidade de infiltração variando espacialmente na bacia, segundo uma distribuição de frequência linear cumulativa, de zero a " b ", conforme mostrado na figura 3.4, a qual representa o modelo de infiltração proposto por CRAWFORD e LINSLEY (1966).

A infiltração direta para os armazenamentos subterrâneo e da zona inferior do solo é definida pela área indicada pela letra **A** na figura 3.4 .

Quando a quantidade de água do solo " x " excede a capacidade máxima de infiltração " b ", a infiltração máxima permitida é " $b/2$ " (capacidade de infiltração média).

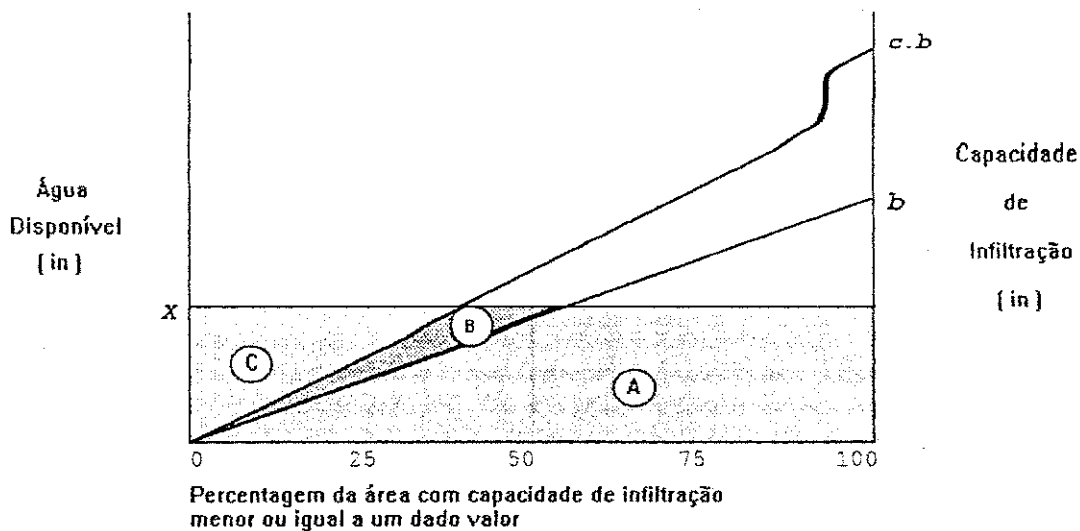


Figura 3.4 - Modelo de infiltração
Fonte: VISSMAN et alii (1989)

CRAWFORD e LINSLEY (1966) definiram a segunda reta mostrada na figura 3.4, representando a variação da capacidade de infiltração de zero a " $c.b$ ", para considerar a parte da água disponível no solo que não infiltra diretamente para a zona inferior e armazenamento subterrâneo, constituindo os incrementos nos armazenamentos sub-superficial e da retenção superficial. Estes incrementos são calculados pelas áreas indicadas pelas letras B e C da figura 3.4, respectivamente.

As áreas da figura 3.4, correspondentes às componentes da infiltração, são obtidas através das equações apresentadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Equações para cálculo das parcelas da infiltração

COMPONENTES	$x < b$	$b < x < c.b$	$x > c.b$
INFILTRAÇÃO DIRETA :	$x - x^2/2b$	$b/2$	$b/2$
ACRÉSCIMO NA RETENÇÃO DO INTERFLUXO :	$(1-1/c).x^2/2b$	$x-b/2-x^2/2cb$	$(c-1)b/2$
ACRÉSCIMO NA RETENÇÃO SUPERFICIAL :	$x^2/2cb$	$x^2/2cb$	$x - cb/2$

Fonte: VISSMAN et alii (1989)

A capacidade máxima de infiltração " b " é obtida pelas equações empíricas desenvolvidas por CRAWFORD e LINSLEY (1966), a partir da utilização do modelo SWM-IV em diversas bacias hidrológicas, tomando por base o modelo de infiltração proposto por Philip:

Se a taxa de umidade do solo LZS/LZC for menor que 1,0:

$$b = BMIR / 2 \cdot LZS/LZC \quad (6)$$

Se LZS/LZC for maior que 1,0, então:

$$b = BMIR / 2 [4 + 2(LZS/LZC - 1)] \quad (7)$$

Quando a taxa de umidade do solo atinge o valor 2,0 o valor de "b" será mínimo ($BMIR/64$).

$BMIR$ (*Basic Maximum Infiltration Rate*) é um parâmetro calibrável do modelo que controla a taxa de infiltração e é função da permeabilidade do solo e do volume de água que pode ser armazenado no solo.

O valor de "c" é dado pela equação empírica:

$$c = BIVF \cdot 2 LZS/LZC \quad (8)$$

onde $BIVF$ (*Basic Interflow Volume Factor*) é um parâmetro de entrada do modelo que fixa o nível do escoamento hipodérmico em relação ao escoamento superficial.

As figuras 3.5 e 3.6, exemplificam as variações de "b" e "c" em função da taxa de umidade do solo.

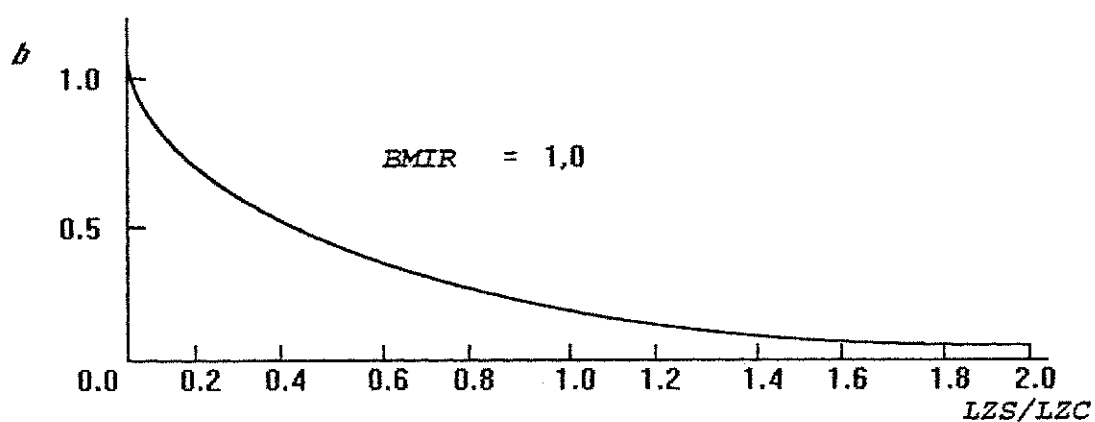


Figura 3.5 - Gráfico da variação de "b" em função da taxa de umidade do solo
Fonte: VIESSMAN et alii (1989)

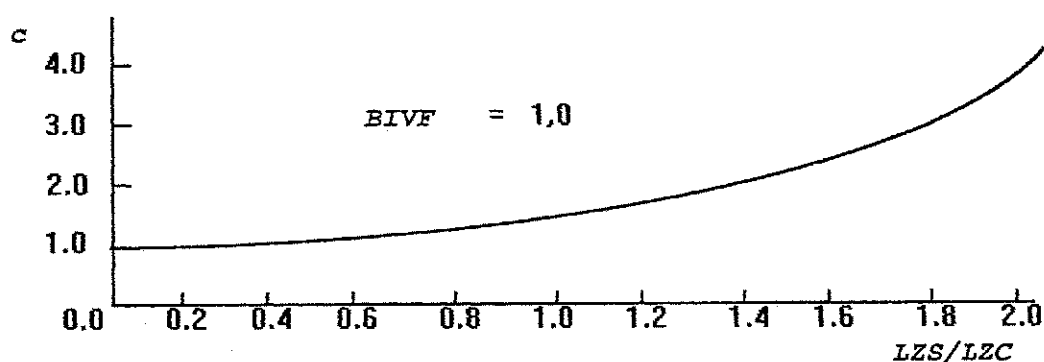


Figura 3.6 - Gráfico da variação de "c" em função da taxa de umidade do solo
Fonte: VIESSMAN et alii (1989)

A água armazenada como retenção superficial irá ainda contribuir ou como escoamento superficial direto no curso d'água ou como armazenamento da zona superior. Esta parcela que incrementa o armazenamento da zona superior é denominada infiltração retardada e é função da taxa de umidade da zona superior (UZS/UZC), relação entre a umidade atual do solo na zona superior e a capacidade nominal desta zona, conforme mostrado na figura 3.7.

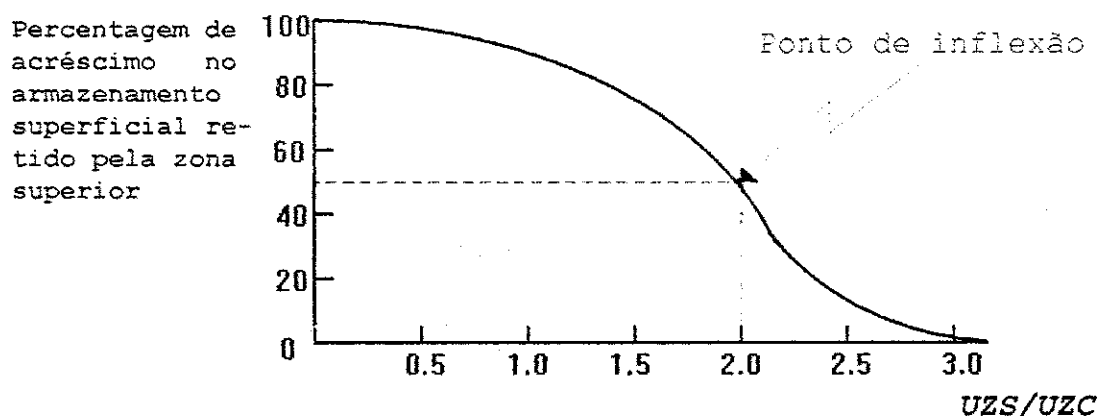


Figura 3.7 - Relação entre infiltração retardada e taxa de umidade na zona superior
Fonte: VIESSMAN et alii (1989)

A capacidade nominal da zona superior UZC (Upper Zone Storage Capacity) é função da topografia e da cobertura vegetal da bacia e é sempre muito inferior ao valor da capacidade nominal da zona inferior (LZC).

No modelo, a capacidade nominal da zona superior (UZC) é calculada pela equação:

$$UZC = 0,3.AETX.SUZC + BUZC.e^{(-2,7.LZS/LZC)} \quad (9)$$

sendo-lhe imposto um valor mínimo de 0,25in.

Na equação 9, $AETX$ (Annual EvapoTranspiration IndeX) é a evaporação potencial média diária do ano, ou seja:

$$AETX = 24. \left(\sum_1^{365} DPET/365 \right) \quad (10)$$

sendo $DPET$ (Dated Potential EvapoTranspiration) os totais diários de evaporação potencial, calculados nessa versão do modelo KWM em função das temperaturas máxima e mínima diárias e dos fatores de radiação, segundo a equação:

$$DPET = RADF.ERAD.TAV.TDF^{1/2} \quad (11)$$

onde $RADF$: fator de radiação (parâmetro de entrada);

ERAD : índices mensais de radiação, função da localização geográfica do posto de medição das temperaturas;

TAV : temperatura média diária, calculada pela equação:

$$TAV = (TMX + TMN)/2 \quad (12)$$

sendo *TMX* e *TMN* as temperaturas máxima e mínima diárias respectivamente, e *TDF* a amplitude diária de temperatura, ou seja:

$$TDF = TMX - TMN \quad (13)$$

Ainda na equação 9, *SUZC* (*Seasonal Upper Zone Storage Capacity Factor*) e *BUZC* (*Basic Upper Zone Storage Capacity Factor*) são parâmetros calibráveis do modelo.

O ponto de inflexão da curva ocorre a uma taxa de umidade do solo igual a 2,0. Se a taxa é menor que 2,0 a percentagem retida pela zona superior é dada por:

$$P_r = 1 - (UZS/UZC) \cdot [1/(1 + UZRX)]^{UZRX} \quad (14)$$

Se esta taxa é maior que 2,0 a percentagem retida pela zona superior passa a ser dada por:

$$P_r = [1/(1 + UZRX)]^{UZRX} \quad (15)$$

A variável *UZRX* (*Upper Zone Moisture Retention IndeX*) das equações anteriores é dada por:

$$UZRX = 2 \cdot |(UZS/UZC - 1)| + 1 \quad (16)$$

3.3.4 - Armazenamento da zona superior

O reservatório correspondente ao armazenamento da zona superior recebe uma grande parte da precipitação durante o início das chuvas, enquanto o do armazenamento inferior e o do subterrâneo podem ou não receber água, pois a porção de água do armazenamento superior que não voltar à atmosfera por evapotranspiração, irá contribuir para o escoamento superficial direto, ou o hipodérmico, ou ainda percolará. A percolação, ou depleção da zona superior para a inferior, só ocorre quando a taxa de umidade da zona superior excede a da zona inferior e, nesse caso, é calculada pelo modelo através da variável *UZINLZ* (*Current Upper Zone INfiltration to Lower Zone*):

$$UZINLZ = 0,003 \cdot BMIR \cdot UZC \cdot (UZS/UZC - LZS/LZC)^3 \quad (17)$$

3.3.5 - Armazenamentos da zona inferior e subterrâneo

Estes reservatórios recebem água da infiltração e da percolação.

A percentagem de infiltração *FMR* (*Fraction of Moisture Retention*) que alcança o reservatório subterrâneo depende da taxa de umidade do solo na zona inferior, conforme mostrado na figura 3.8.

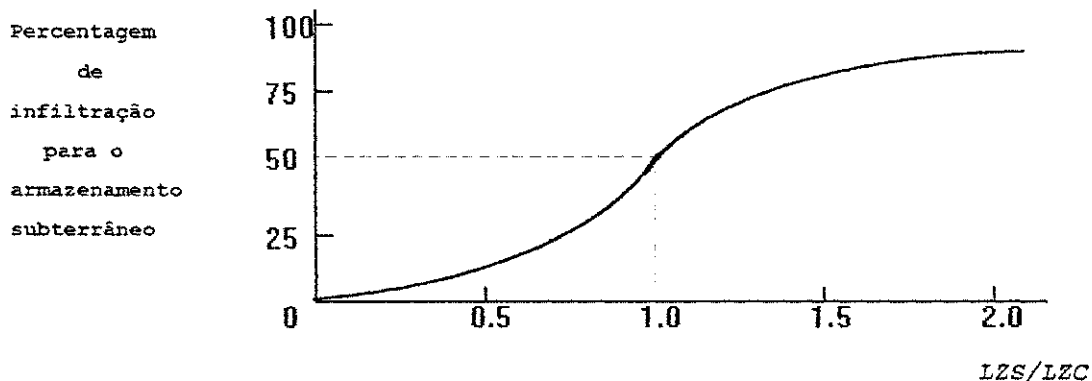


Figura 3.8 - Percentagem de infiltração para o reservatório subterrâneo em função da taxa de umidade do solo na zona inferior

Fonte: VIESSMAN et alii (1989)

a) se a taxa de umidade do solo é inferior a 1,0:

$$FMR = (LZS/LZC) \cdot [1/(1 + LZRX)]^{LZRX} \quad (18)$$

b) se a taxa de umidade do solo for superior a 1,0 :

$$FMR = 1 - ([1/(1 + LZRX)]^{LZRX}) \quad (19)$$

A variável *LZRX* (*Lower Zone Moisture Retention Index*) das equações 18 e 19 é dada por:

$$LZRX = 1,5 | (LZS/LZC) - 1 | + 1 \quad (20)$$

Convém observar na figura 3.8, que a capacidade nominal da zona inferior (*LZC*) é igual ao armazenamento da zona inferior (*LZS*), quando metade da infiltração alcança o reservatório subterrâneo.

Os valores percentuais (*FMR*) são, então, aplicados aos valores obtidos da infiltração (item 3.3.3) e da percolação (item 3.3.4), obtendo-se as parcelas que irão contribuir para o armazenamento subterrâneo *GWS* (*Current GroundWater Storage*).

O escoamento básico ou vazões de saída do armazenamento subterrâneo, é calculado no modelo através da variável *CBF* (*Current Base Flow*) dada pela equação:

$$CBF = (1 + BFNRL.BFNX).BFRL.GWS \quad (21)$$

Sendo *BFNRL* (*Base Flow Non-Linear Recession Logarithm*) uma variável do modelo, de valor inicial zero, que proporciona maior flexibilidade para refletir as variações temporais que ocorrem na taxa de depleção. Se *BFNRL* é igual a zero, a Equação 21 representa a conhecida curva de depleção logarítmica.

BFNX (*Current Base Flow Non-Linear Recession IndeX*) é um índice antecedente baseado no volume de entrada do reservatório subterrâneo, calculado como 97% do seu valor no dia anterior acrescido do volume de entrada do dia considerado.

A taxa de recessão do fluxo básico *BFRL* (*Base Flow Recession Logarithm*) é calculada no modelo em intervalos horários através da equação:

$$BFRL = -\ln(BFRC^{1/24}) \quad (22)$$

Onde *BFRC* (*Base Flow Recession Constant*) é um parâmetro de entrada que representa a constante de recessão do fluxo básico.

No período chuvoso, quando ocorre recarga nos aquíferos, a constante de recessão do escoamento básico (*BFRC*) é reduzida. Este efeito é evidenciado no modelo atribuindo-se um valor diferente de zero e inferior a 1,0 para o parâmetro de entrada *BFNLR* (*Base Flow Non-Linear Recession Adjustment Factor*). Neste caso, a variável *BFNRL* passa a ser calculada pela equação:

$$BFNRL = -\ln(BFNLR^{1/24}) \quad (23)$$

e o termo $(1 + BFNRL.BFNX)$ da Equação 21 reduz a constante de recessão a uma taxa efetiva menor quando os valores de *BFNX* aumentam, o que coincide com os períodos de recarga dos aquíferos.

Finalmente resta a fração do armazenamento subterrâneo que se perde por percolação profunda para aquíferos inativos ou que é desviada para bacias limítrofes. Esta fração é considerada no modelo através do parâmetro de entrada *SUBWF* (*SUB*surface *W*ater *F*low out of the basin) cujo valor é assumido em função das características geológicas da bacia hidrográfica.

3.3.6 - Escoamento superficial

As velocidades e as profundidades de pequenos fluxos d'água sobre terrenos naturais podem ser estimadas por métodos: hidráulicos, que envolvem técnicas de diferenças finitas ou outros métodos numéricos para a solução das equações da continuidade e da quantidade de movimento relativas ao escoamento

turbulento; e os hidrológicos, inclusive o adotado nesse modelo, que obtêm valores aproximados de velocidades e de profundidades de fluxo para o regime turbulento, relacionando-os com parâmetros que requerem menor número de dados que os métodos hidráulicos.

Como o modelo calcula continuamente o volume de água armazenado na retenção superficial, este volume foi o parâmetro escolhido pelos autores do modelo para relacioná-lo com o escoamento superficial.

Valores médios de extensão *OFSL* (*Overland Flow Surface Length*), declividade *OFSS* (*Overland Flow Surface Slope*) e rugosidade *OFMN* (*Overland Flow Manning's N*) do fluxo superficial das equações da continuidade e de Manning são usados no modelo para o cálculo do armazenamento da retenção superficial.

O volume da retenção superficial de equilíbrio (D_e), definido como o volume da retenção superficial quando o volume de entrada neste reservatório iguala o volume de escoamento superficial por ele produzido, é estimado no modelo pela equação:

$$D_e = 0,000818.i^{3/5}.OFMN^{3/5}.OFSL^{5/3}/OFSS^{3/10} \quad (24)$$

Onde: "i" é a água disponível da precipitação deduzida da interceptação, em in/h.

Para cada intervalo de tempo Δt , o modelo aplica a equação da continuidade:

$$D_f = D_i + \Delta D - OFR.\Delta t \quad (25)$$

onde: D_i e D_f são a retenção superficial no início e no final do intervalo de tempo considerado; ΔD é o acréscimo na retenção superficial no intervalo de tempo considerado, obtido conforme mostrado na figura 3.4; e *OFR* (*Current Overland Flow Runoff*) é a vazão do escoamento superficial por unidade de largura no intervalo de tempo, sendo obtida pela equação:

$$OFR = (1,486/OFMN).OFSS^{1/2}.(D/OFSL)^{5/3}.[1+0,6.(D/D_e)^3]^{5/3} \quad (26)$$

utilizando para "D" o valor médio do intervalo:

$$D = (D_f + D_i) / 2 \quad (27)$$

Durante a recessão que ocorre quando cessam as chuvas, (D/D_e) na equação 26 é assumida igual a 1,0.

3.3.7 - Escoamento hipodérmico

A água temporariamente retida como armazenamento sub-superficial é tratada no modelo da mesma forma que o armazenamento da retenção do

escoamento superficial, tendo sido definida na figura 3.4, e o escoamento hipodérmico correspondente à vazão de saída deste armazenamento é simulado utilizando-se uma constante de recessão do interfluxo *IFRC* (*InterFlow Recession Constant*), definida como a média das razões entre a vazão hipodérmica num dia qualquer e a vazão do interfluxo 24 horas antes.

A vazão do escoamento hipodérmico *CIF* (*Current InterFlow*) é então calculada em cada intervalo de tempo (15 minutos), por:

$$CIF = IFRL \cdot IFS \quad (28)$$

onde a variável *IFS* (*InterFlow Storage*) é o volume de água armazenada na retenção hipodérmica em um tempo qualquer, obtido a partir das equações correspondentes apresentadas na tabela 3.3, e *IFRL* (*InterFlow Recession Logarithm*) é a taxa de recessão do interfluxo dada pela equação:

$$IFRL = -\ln(IFRC^{1/96}) \quad (29)$$

3.3.8 - Translação e amortecimento no canal

O fluxo d'água ao longo de um canal natural passa por dois processos hidrológicos: translação e amortecimento da onda de cheia. O método mais preciso para representar esses processos é a relação das equações de Saint Venant ou equações do movimento não permanente. Devido à complexidade do uso dessas equações, o modelo utiliza um método simplificado, considerando os processos separadamente, tratando inicialmente a translação e depois o amortecimento da hidrógrafa.

A translação da hidrógrafa de entrada é feita no modelo através do método do Histograma Tempo X Área desenvolvido por Clark, em 1945 (VIESSMAN et alii, 1989).

As vazões de entrada no canal são transladadas através da equação:

$$I_t = \sum_{\theta}^{NCTRI} (q_{t-x} CTRI) \quad (30)$$

onde: I_t = vazão transladada no tempo t ;

$NCTRI$ = número de elementos do histograma tempo X área (parâmetro de entrada);

q_{t-x} = vazão de entrada "x" intervalos de tempo antes;

$CTRI$ = ordenadas do histograma tempo X área, (parâmetros de entrada).

Assim, as hidrógrafas nos pontos de controle são obtidas observando-se apenas as defasagens dos hidrogramas de entrada face às diferentes distâncias a serem percorridas.

O efeito do amortecimento da onda no canal é representado no modelo por um reservatório fictício cujo armazenamento é equivalente àquele que ocorre no canal. O reservatório é considerado linear, no sentido de que o armazenamento é diretamente proporcional à vazão de saída, ou seja:

$$O = (1/K).S \quad (31)$$

onde K é a constante do armazenamento. Pela equação da continuidade, tem-se:

$$dS/dt = I - O \quad (32)$$

onde I e O são as vazões de entrada e de saída do reservatório respectivamente, e dS/dt é a variação do armazenamento no tempo considerado. Das equações 31 e 32 obtém-se:

$$dO/dt = -(1/K).(I - O) \quad (33)$$

Aplicando-se diferenças finitas nessa equação, tem-se:

$$(O_2 - O_1)/\Delta t = -(1/K).[(I_1 + I_2)/2 - (O_1 + O_2)/2] \quad (34)$$

onde os índices (1) e (2) referem-se ao início e ao fim do intervalo de tempo considerado. A equação 34 é equivalente a:

$$O_2 = (I_1 + I_2)/2 - (K - \Delta t/2)/(K + \Delta t/2).[(I_1 + I_2)/2 - O_1] \quad (35)$$

Podendo ser escrita na forma:

$$O_2 = I - CSRX.(I - O_1) \quad (36)$$

Onde I é a vazão média de entrada:

$$I = (I_1 + I_2)/2 \quad (37)$$

sendo I_1 e I_2 as vazões de entrada no canal de fluxo no início e no fim do intervalo de tempo considerado, obtidas pela equação 30.

$CSRX$ (Channel Storage Routing Index) é um parâmetro que representa a constante de recessão do canal quando a vazão de entrada é nula:

$$CSRX = (K - \Delta t/2)/(K + \Delta t/2) \quad (38)$$

Quando a vazão no canal se eleva a ponto de causar transbordamento, o parâmetro de entrada passa a ser $FSRX$ (Flood Plain Storage Routing Index) determinado similarmente ao $CSRX$ porém, a partir das vazões de cheia correspondentes a tais eventos.

O modelo utiliza $CSRX$ enquanto as vazões de entrada no canal forem inferiores à metade da capacidade do canal $CHCAP$ (Channel Capacity),

geralmente assumida como a vazão correspondente à cheia anual com um período de retorno de 1,5 anos. Por outro lado, o modelo utilizará *FSRX* para vazões superiores ao dobro da capacidade do canal.

Quando as vazões de entrada no canal (*I*) são maiores que metade e inferiores ao dobro da capacidade do canal (*CHCAP*), o modelo utilizará o parâmetro *SRX* (Current Storage Routing Index) obtido pela equação:

$$SRX = CSRX + (FSRX - CSRX) \cdot [I - 0,5 \cdot CHCAP] / (1,5 \cdot CHCAP)^3 \quad (39)$$

O cálculo da translação e do amortecimento das vazões no canal é feito, nesta versão do modelo, a nível diário.

3.4 - DADOS DE ENTRADA DO MODELO

Embora pareça ser bastante complexa nas formulações matemáticas representativas das diversas fases do ciclo hidrológico, a versão do modelo KWM utilizada nesse trabalho necessita de um número relativamente reduzido de dados de entrada.

Por outro lado, o modelo é flexível quanto aos dados a serem utilizados, permitindo entrada de informações complementares ou mesmo de variadas opções de leitura desses dados de entrada, conforme a disponibilidade dos mesmos.

Convém lembrar que a bacia hidrográfica é subdividida em "segmentos" considerando a homogeneidade das suas características físico-morfológicas e das precipitações. Portanto, os parâmetros físicos como também os demais dados de entrada são considerados como representativos de condições médias em cada segmento.

3.4.1 - Características físicas das bacias

As características físicas das bacias, por segmento, são representadas no modelo pelos parâmetros de entrada descritos a seguir.

BAREA - área total de drenagem da bacia;

ZAREA - área de cada segmento ou zona;

ELDIF - desnível entre a altitude média da bacia e a elevação da estação meteorológica. Este parâmetro é utilizado para ajuste da evaporação potencial;

FIMP - fração impermeável da área da bacia que drena diretamente para os

cursos d'água;

FFOR - fração da área da bacia coberta por floresta densa;

FWTR - fração da área da bacia em água, correspondente aos lagos, reservatórios e áreas alagadiças;

OFSS - declividade média do terreno natural;

OFSL - extensão média do escoamento superficial;

OFMN - coeficiente de rugosidade de Manning para o escoamento no sistema de canais;

OFMNIS - coeficiente de rugosidade de Manning para o escoamento nas áreas impermeáveis da bacia;

CHCAP - índice da capacidade dos canais que fornece uma estimativa da vazão na saída da bacia ou segmento considerado;

CSRX - constante de armazenamento nos canais quando a vazão de entrada é nula, ou seja, é a taxa de depleção da água armazenada nos canais;

FSRX - taxa de depleção da água armazenada nos canais e nos planos de cheia, quando ocorre transbordamento;

IFRC - constante de recessão do interfluxo;

BFRC - constante de recessão do escoamento básico;

BFNLR - parâmetro usado para definir o tipo da função da recessão do fluxo básico ($BFNLR = 1,0$ linear; ou $BFNLR < 1,0$ não-linear);

NCTRI e **CTRI** - parâmetros relativos ao histograma tempo X área ou método de Clark para propagação da onda de cheia no canal. **CTRI** representa cada fração de área entre isócronas, e **NCTRI** é o número de isócronas utilizadas em função do intervalo de tempo considerado.

Os parâmetros físicos citados são determinados ou por medições diretas em plantas topográficas ou em fotos aéreas, ou por técnicas básicas da hidrologia.

3.4.2 - Dados climatológicos das bacias

Os dados climatológicos requeridos pelo modelo incluem:

Precipitação horária. Dados obtidos a partir de uma estação pluviográfica localizada o mais próximo possível do centro da bacia, para que seja melhor representativa das chuvas na mesma.

Quando não existe uma estação pluviográfica na bacia, o modelo

permite ajustar as precipitações horárias de uma estação pluviográfica próxima à bacia, em função da precipitação média sobre a mesma. Para tanto, oferece as seguintes opções:

1 - Utilizar um parâmetro de entrada denominado *RGPM* (*Recording Gage Precipitation Multiplier*) determinado como a razão entre a precipitação média anual de longo termo sobre a bacia e a precipitação média anual do posto pluviográfico considerado.

2 - Ajustar as precipitações horárias da estação pluviográfica próxima à bacia com base nas precipitações diárias obtidas em uma ou mais estações pluviométricas, as quais são mais abundantes na região, utilizando um fator de peso *WSG* (*Weighting Factor for Storage Rain Gage*) para cada estação pluviométrica. Este fator é calculado como a razão entre a distância do centróide da bacia à estação pluviográfica, e a soma das distâncias do centróide às estações pluviográfica e pluviométrica. Pode ser determinado também como a razão entre a área de influência (polígono de Thiessen) da estação pluviométrica e a área total do segmento ou da bacia considerada.

Evaporação. O modelo utiliza valores diários de evaporação potencial definida como a evaporação das superfícies dos lagos e é geralmente obtida por medição em Tanques Classe A, utilizando-se um coeficiente para o tanque, geralmente 0,7 ou 0,75.

Quando as medições em Tanques Classe A não são disponíveis a nível diário para as bacias, o modelo permite outras opções de entrada de dados para a obtenção da evaporação potencial diária, quais sejam:

1 - A disponibilidade de valores médios da evaporação do Tanque Classe A para períodos fixos de 10 dias; ou

2 - A disponibilidade de valores diários de temperaturas máxima e mínima. Neste caso, o modelo necessita também de índices mensais de radiação calculados em função da localização geográfica da estação meteorológica correspondente, conforme foi mostrado no item 3.3.3, equação 11.

Convém observar que o modelo permite ainda o uso de outras metodologias que podem ser testadas e comparadas, em função dos dados disponíveis para estimar a evaporação.

3.4.3 - Dados complementares

Além dos dados citados, o modelo necessita de informações complementares referentes a possíveis desvios de vazões do rio, registros das vazões medidas nos pontos de controle de cada segmento, e as condições iniciais de armazenamento no solo.

Desvio de Vazões. Quando houver o desvio das vazões do rio, como por exemplo para irrigação, o modelo considera ainda a entrada direta dessas informações a nível diário.

Vazões Observadas. Para fins de comparação das vazões simuladas, o modelo utiliza dados diários de vazões observadas, as quais servem apenas para verificar o grau de semelhança entre os hidrogramas observados e simulados nos pontos de controle.

Armazenamentos iniciais. Finalmente, são dados de entrada no modelo as condições iniciais de armazenamento nas zonas superior e inferior do solo e dos armazenamentos hipodérmico e subterrâneo, representados no modelo pelos parâmetros de entrada: *UZS*, *LZS*, *IFS*, e *GWS* respectivamente.

3.5 - RESULTADOS DO MODELO

Assim como os dados de entrada, os resultados da aplicação do modelo podem ser escolhidos em função dos objetivos pretendidos.

Embora basicamente a saída do modelo seja a vazão diária numa seção pré-definida do curso d'água, são disponíveis diversas outras informações ao longo do processo de transformação da precipitação em vazão.

O modelo quantifica os diversos armazenamentos a nível diário, mensal e anual, mostrando ao final de cada simulação, o balanço hídrico anual na bacia.

Por outro lado, como o modelo trata separadamente a propagação e o amortecimento da onda de cheia no canal principal, esses fenômenos podem ser estudados isoladamente, visualizando-se as vazões antes e depois da translação da hidrógrafa em intervalos de tempo inferiores a dias ou mesmo horas.

Ainda nesse contexto, cada componente dos processos do ciclo hidrológico pode ser analisado separadamente.

3.5.1 - Descrição dos dados de saída

As vazões diárias simuladas são comparadas com as respectivas vazões observadas, e o modelo apresenta uma tabela onde são mostrados os erros absolutos, os desvios e o coeficiente de correlação diário.

O balanço hídrico apresentado ao final de cada simulação fornece os diversos armazenamentos, as perdas por evapotranspiração e as vazões correspondentes aos escoamentos superficial direto, hipodérmico e básico que formam a vazão total do rio.

As variações médias mensais na capacidade de infiltração são apresentadas através dos valores da variável *SLAM* (*Seasonal Infiltration Adjustment Multiplier*), permitindo estudar o processo de infiltração separadamente, avaliando seu comportamento ao longo do tempo.

Exemplificando os possíveis resultados do modelo, são apresentados no anexo 4 algumas saídas referentes à aplicação do KWM em uma das bacias estudadas.

CAPÍTULO IV

BACIAS ESTUDADAS

Através do Programa de Estudo de Bacias Hidrológicas Representativas e Experimentais do Nordeste Brasileiro a SUDENE criou o Banco de Dados Hidro-meteorológicos com informações referentes a pluviografia, pluviometria, fluviometria e dados meteorológicos que possibilitam a aplicação de modelos operando a nível horário como o KWM.

Foram selecionadas as Bacias Hidrológicas Representativas de Sumé/PB e do Riacho do Navio/PE, monitoradas pela SUDENE durante oito e sete anos, respectivamente, e localizadas numa mesma zona homogênea, segundo a classificação de Nouvelot relativa a precipitação, permeabilidade do solo, relevo e altitude (SUDENE, 1982).

No mapa da figura 4.1 são mostrados os limites das zonas hidrológicas homogêneas com características físico-climáticas semelhantes às da Bacia de Sumé, bem como a localização das duas bacias estudadas nesse trabalho.

Em relação à Bacia Hidrográfica de Sumé/PB, foram tomados por base os resultados apresentados no relatório parcial da SUDENE intitulado "BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ - Primeira estimativa dos recursos de água", referente às campanhas realizadas no período 1973/80.

Foram estudadas três sub-bacias de Sumé: Jatobá, Umburana e Gangorra, sendo que esta última abrange toda a bacia de Sumé, (figura 4.4).

Em relação a Bacia Representativa Hidrológica do Riacho do Navio/PE, o Relatório Final da SUDENE, embora indique seis sub-bacias monitoradas (Salobro, Oscar Barros, Sangradouro, Jatobá, Alto do Umbuzeiro e Matriz), apresenta os resultados do estudo de apenas três delas: Salobro, Oscar Barros e Matriz, (figura 4.10).

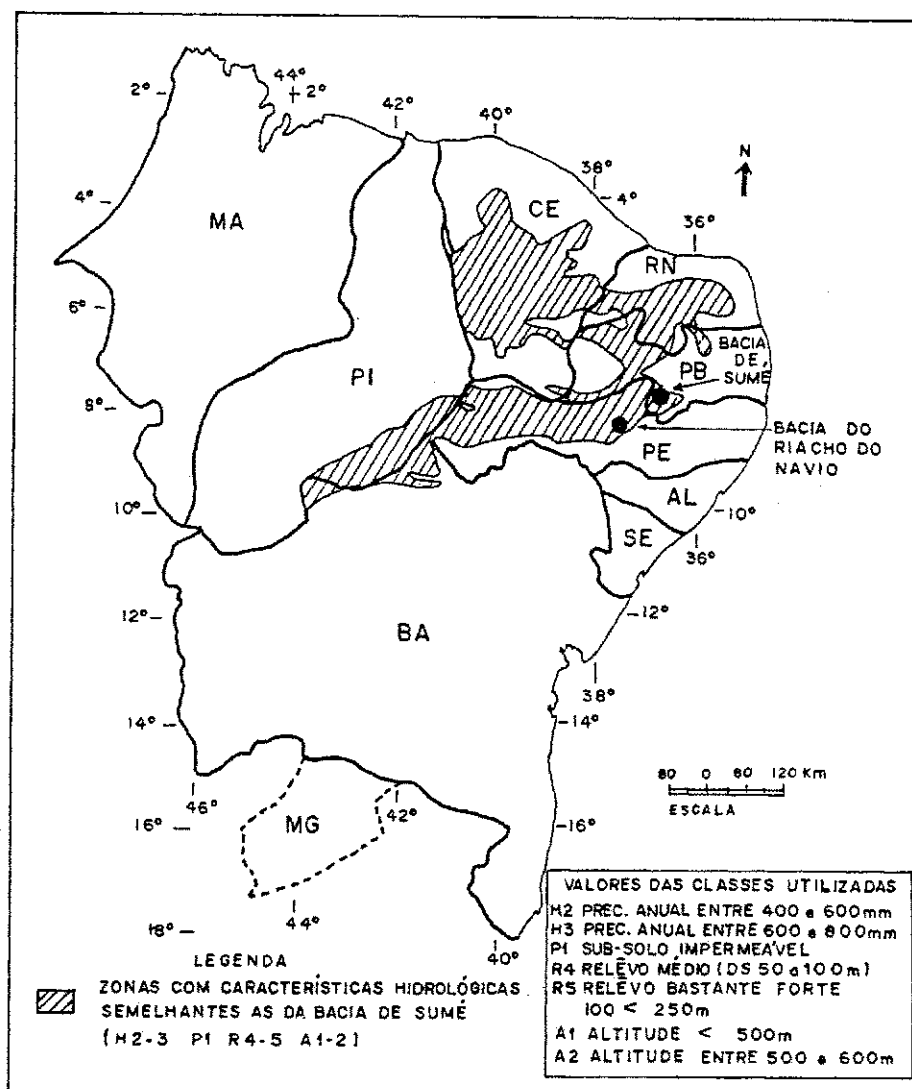


Figura 4.1 - Mapa de Localização das Bacias de Sumé e do Riacho do Navio
Fonte: SUDENE (1979;1982)

4.1 - BACIA HIDROGRÁFICA DE SUMÉ

4.1.1 - Características climatológicas da bacia

Na figura 4.2 são mostradas as variações médias ao longo do ano dos elementos meteorológicos medidos na estação de Ouro Velho, no período 1973/80, relativos à bacia de Sumé.

As temperaturas variam de 15°C a 32°C, com uma média anual em torno de 24°C.

A umidade relativa do ar varia com as estações do ano, apresentando valores máximos no inverno (abril e maio) inferiores a 80%, e mínimos no verão

(novembro e dezembro) em torno de 45%.

Os ventos se apresentam fracos e com velocidades médias máximas nos meses secos de 2,2 m/s, aproximadamente.

A maior duração de insolação média diária ocorre nos meses de setembro a dezembro, com valores médios de 8,5 horas/dia. Os meses chuvosos apresentam valores médios em torno de 6,5 horas de sol por dia, e o total médio anual registrado no período de observação foi de 2.800 horas de insolação.

A evaporação apresenta-se variando de 6 mm/dia nos meses de junho e julho, a 9,5 mm/dia em novembro e dezembro. Os totais anuais atingem 2.600 mm a 3.200 mm, registrando-se uma média anual de 7,9 mm/dia no período observado.

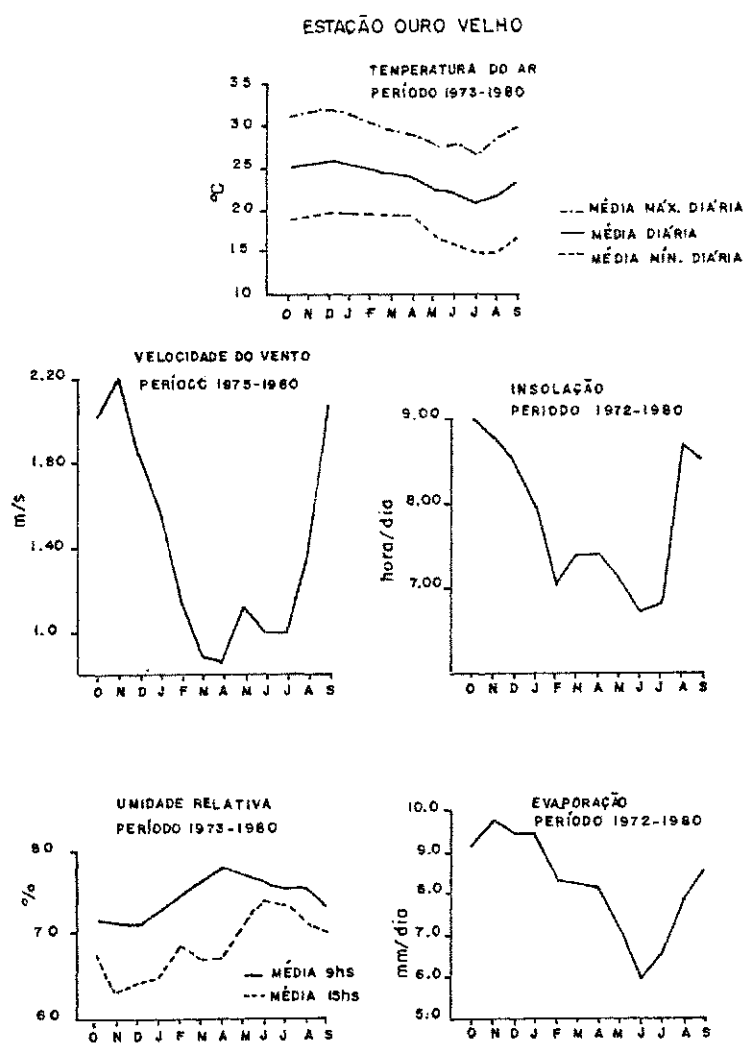


Figura 4.2 - Elementos meteorológicos da Bacia de Sumé
Fonte: SUDENE (1982)

A figura 4.3 apresenta o gráfico das isoietas médias anuais da bacia de Sumé.

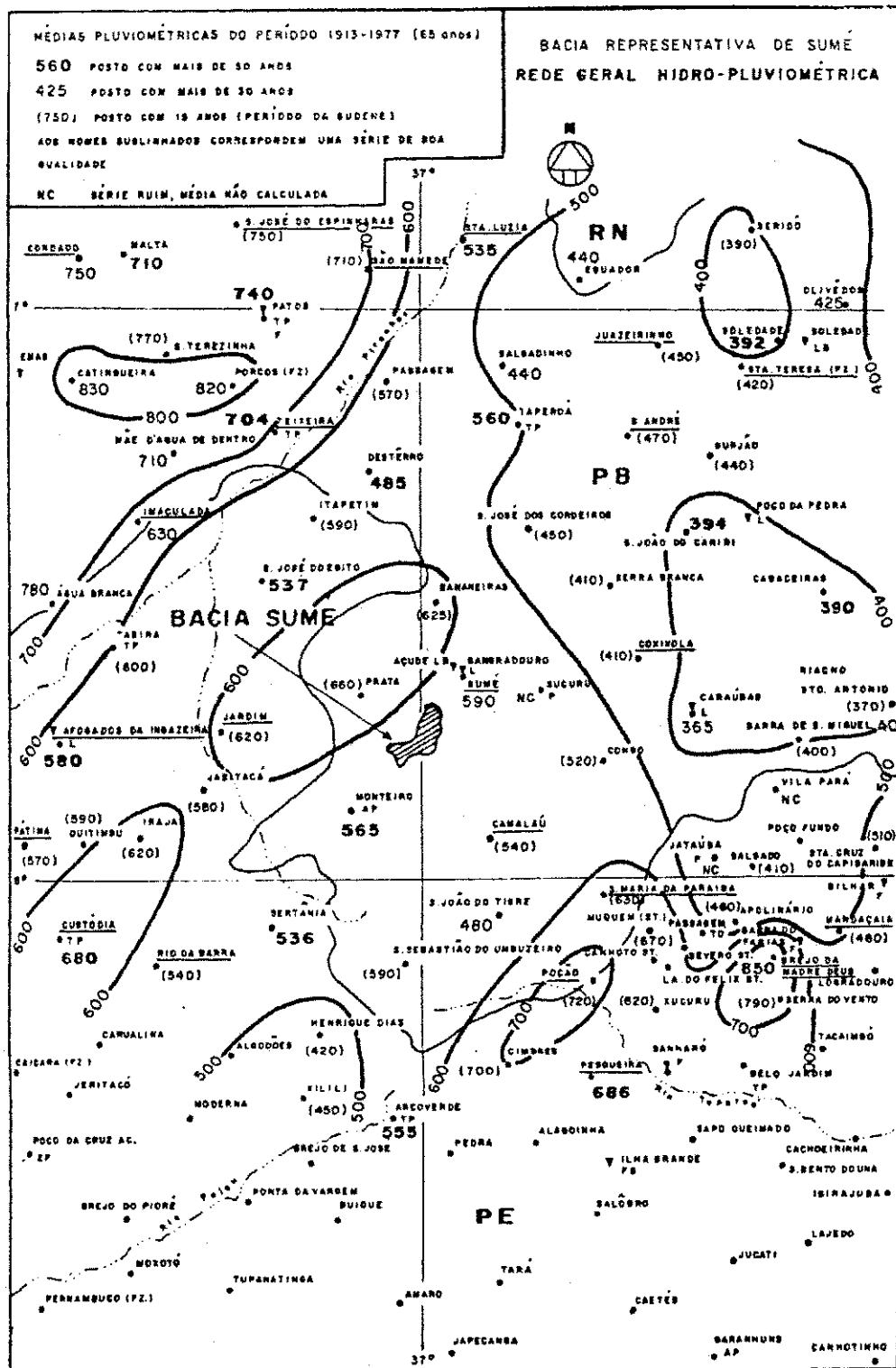


Figura 4.3 - Isoietas médias anuais da Bacia de Sumé
 Fonte: SUDENE (1982)

Em relação às precipitações, a bacia de Sumé está localizada no limite ocidental de uma grande depressão pluviométrica situada a oeste da Chapada da Borborema que bloqueia as massas de ar úmido provenientes do Oceano Atlântico, provocando chuvas abundantes a leste da chapada e poucas chuvas a oeste, encontrando-se zonas com pluviometria anual inferior a 400 mm.

A bacia de Sumé tem pluviometria média anual em torno de 550 mm e é caracterizada por uma instabilidade e irregularidade climática interanual muito forte: clima semi-árido, baixa precipitação e temperaturas elevadas ocasionando alta evaporação. Apresenta duas estações bem distintas: o verão (estação seca) que ocorre geralmente de junho a janeiro, marcada por poucas precipitações de intensidade fraca ou mesmo nula; e o inverno (estação chuvosa) restrita praticamente a quatro meses, fevereiro a maio, com os meses de maior precipitação geralmente sendo março e abril.

4.1.2 Características físicas e morfológicas da Bacia de Sumé

A seguir são resumidamente descritas as características físicas e morfológicas das sub-bacias de Sumé.

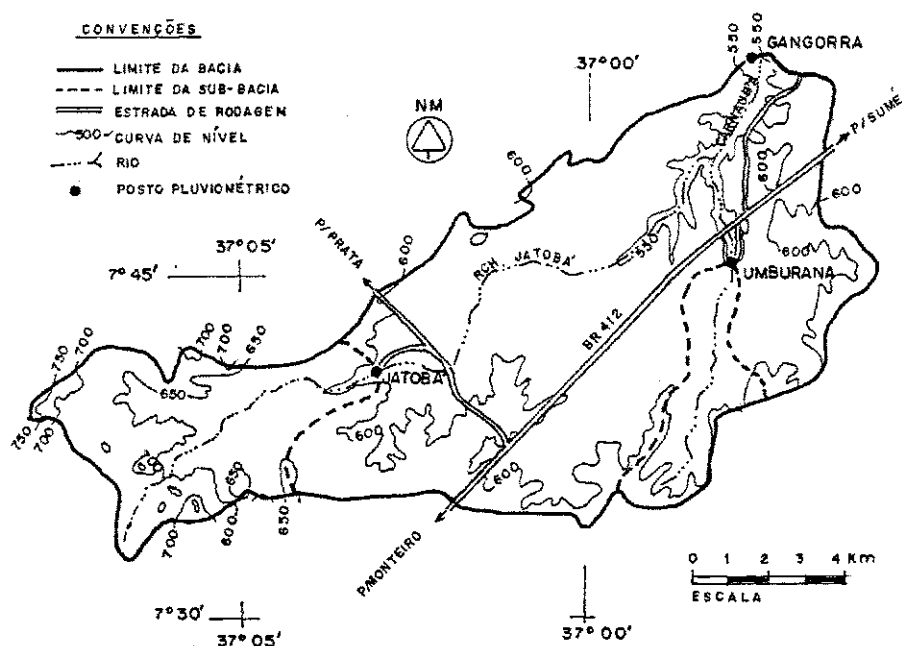


Figura 4.4 - Relevo da Bacia de Sumé
Fonte: SUDENE (1982)

A sub-bacia de Jatobá apresenta relevo suave a moderado, com altitude variando de 600 a 780 m, sendo mais suave na parte inferior da sub-bacia. Umburana apresenta relevo suave, com altitude entre 550 e 620 m, e Gangorra, cuja área envolve toda a Bacia de Sumé, o relevo também é predominantemente suave, apresentando-se plano em algumas áreas, (figura 4.4).

Em relação à hidrografia, Sumé apresenta-se totalmente constituída de cursos d'água intermitentes. A sub-bacia de Jatobá tem rede de drenagem fraca, com uma densidade de 1,28 Km/Km².

Umburana apresenta densidade de drenagem de 1,86 Km/Km². As demais áreas da Bacia de Sumé são melhor drenadas, totalizando 2,30 Km/Km² de densidade de drenagem em Gangorra, (Figura 4.5).

Observa-se ainda a presença de vários açudes construídos ao longo da bacia.

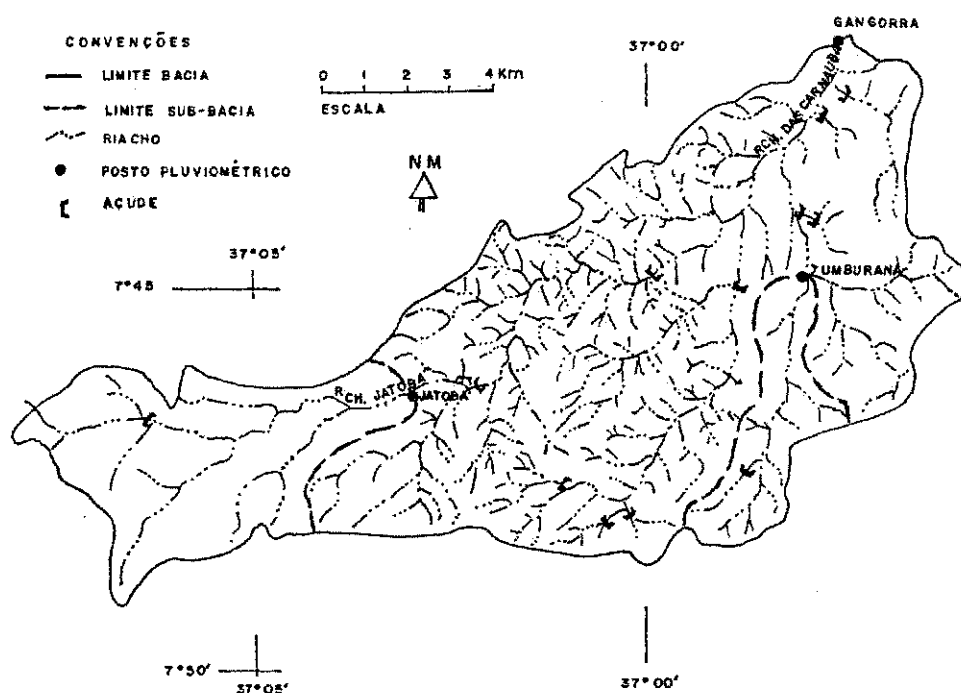


Figura 4.5 - Drenagem da Bacia de Sumé
Fonte: SUDENE (1982)

O esboço geológico mostrado na figura 4.6, apresenta predominância de granito alcalino na sub-bacia de Jatobá (85% da área), sendo o restante constituído de xistos, paramfibólitos e gnaisses. Apresenta alguns afloramentos rochosos nesta sub-bacia.

Cerca de 80% da área de Umburana é composta de gnaisses e

quartzitos, e o restante de xistos, paramfibólitos e gnaisses. Não apresenta afloramentos rochosos.

A parte superior da sub-bacia de Gangorra, correspondente a sub-bacia de Jatobá, é constituída de granitos alcalinos (20% da área); 60% da área é de xistos, paramfibólitos e gnaisses; e os 20% restante de gnaisses e quartzitos, (Figura 4.6).

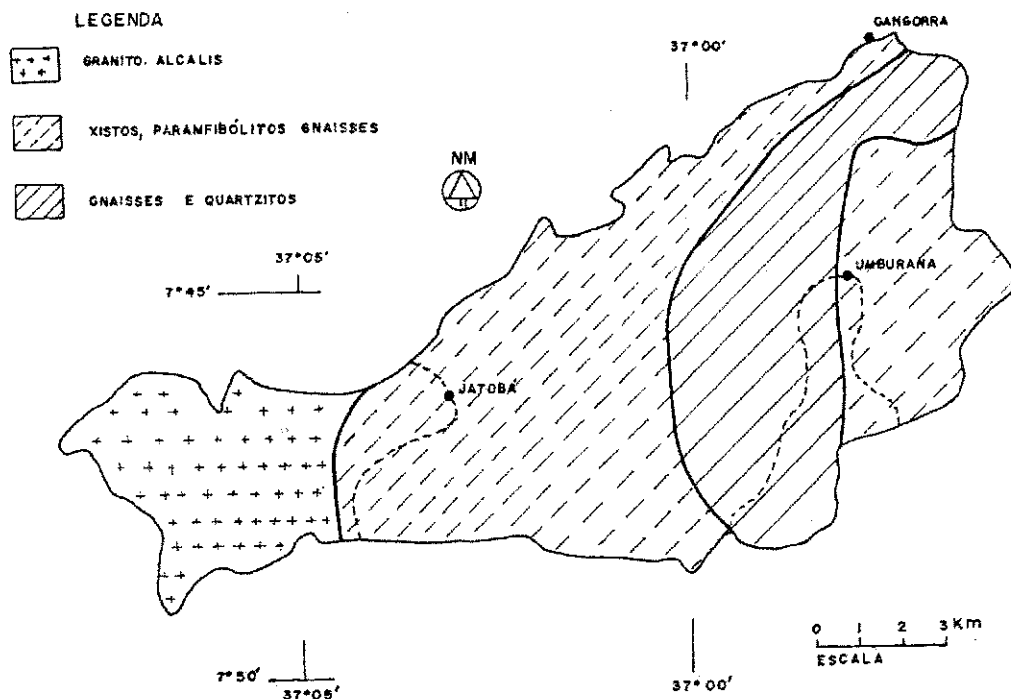


Figura 4.6 - Esboço geológico da Bacia de Sumé
Fonte: SUDENE (1982)

Em consequência da geologia apresentada, predominam, em Jatobá, os solos podzólicos vermelho amarelo equivalentes eutróficos. Na parte inferior da sub-bacia constata-se a presença de associação de solos brunos não cálcicos e de solos litólicos eutróficos.

A sub-bacia de Umburana apresenta uma variedade de solos acentuada: solos brunos não cálcicos vérticos; solos litólicos eutróficos; solos aluviões; e predominância da associação de solos brunos não cálcicos e de solos litólicos eutróficos, totalizando metade da área da sub-bacia.

Gangorra apresenta os tipos de solos das duas sub-bacias anteriores, com predominância da associação de solos brunos não cálcicos e de solos litólicos eutróficos, (Figura 4.7).

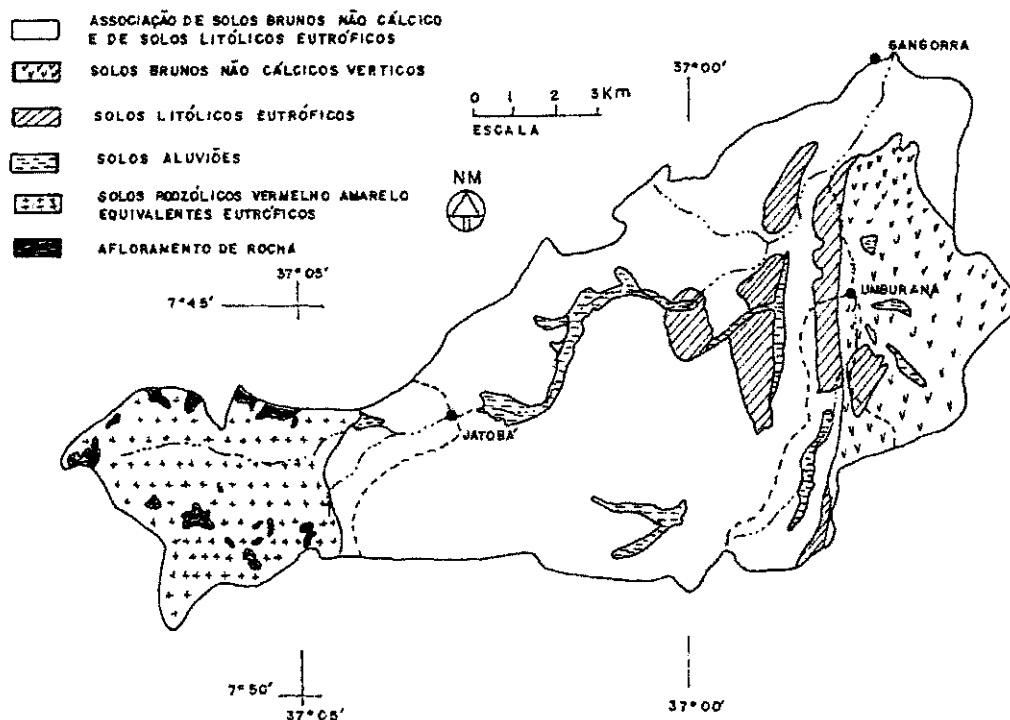


Figura 4.7 - Pedologia da Bacia de Sumé
 Fonte: SUDENE (1982)

Os três tipos de rochas componentes da geologia da bacia de Sumé caracterizam-se pela ausência de aquíferos generalizados, à excessão de algumas fendas e zonas aluviais localizadas de pouca espessura.

Na parte superior da bacia, correspondendo à sub-bacia de Jatobá propriamente dita, os solos são permeáveis e retém bem a água. As cheias são fracas e atrasadas.

A sub-bacia de Umburana apresenta escoamentos mais fortes que Jatobá, devido aos solos rasos e pouco permeáveis ali existentes.

Nas demais áreas da bacia de Sumé, onde o relevo é suave ou mesmo plano, face a presença de solos aluviais muito permeáveis, ocorre a infiltração profunda de água das cheias dos rios.

Os açudes construídos ao longo da bacia, ocasionam um escoamento moderado a fraco em Gangorra.

Em relação à vegetação, toda a Bacia de Sumé é constituída predominantemente de caatinga hiperxerófila densa. As áreas cultivadas são praticamente desprezíveis, desenvolvendo-se basicamente em faixas aluviais (milho, feijão e algodão).

4.1.3 - Parâmetros físicos das sub-bacias de Sumé

Os parâmetros físicos das sub-bacias de Sumé, foram obtidos nas cartas topográficas SB 24-Z-D-IV - PRATA e SB 24-Z-D-V - SUMÉ, através de medições dos elementos necessários à determinação dos mesmos. Os valores obtidos são mostrados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros físicos da Bacia de Sumé

PARÂMETROS FÍSICOS	UNIDADE	SUB - BACIAS		
		UMBURANA	JATOBÁ	GANGORRA
1. Área da bacia	Km ²	10,7	26,8	137,4
2. Perímetro	Km	18,2	28,5	69,5
3. Índice de compacidade	-	1,57	1,55	1,67
4. Índice decliv. global	m/Km	6,79	9,33	3,94
5. Desnível específico	m	22,0	48,3	46,2
6. Densidade de drenagem	Km/Km ²	1,86	1,28	2,30
7. Altitude mediana	m	588	651	592
8. Tempo de concentração (método de Kirpich)	min	111	118	331
9. Compr. do rio principal	Km	7,4	10,7	28,3
10. Desnível máximo	m	71	184	233
11. Fração em floresta	%	0	0	0
12. Fração em água(lagos,etc)	%	0	0	0
13. Fração impermeável	%	0	0	0
14. Decliv.méd.esc.superf.	m/m	0,034	0,074	0,036
15. Ext.méd.do esc.superf.	m	134	195	109

4.2 - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO NAVIO

4.2.1 - Características climatológicas da bacia

Na figura 4.8 são mostradas as variações médias ao longo do ano dos elementos meteorológicos medidos no posto Fazenda Conceição, no período

1970/77, referentes à bacia representativa do Riacho do Navio.

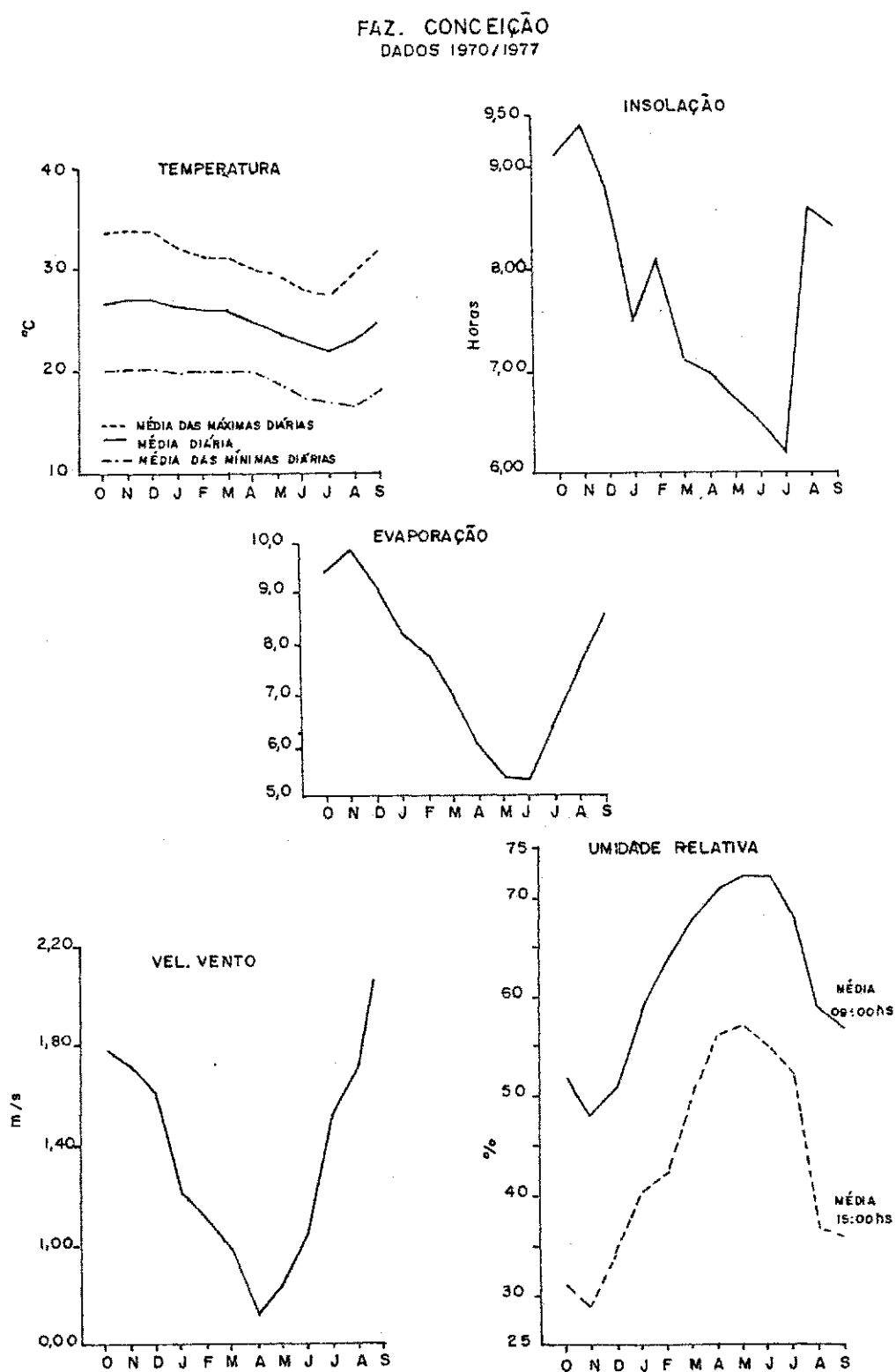


Figura 4.8 - Elementos meteorológicos da Bacia do Riacho do Navio.

Fonte: SUDENE (1979)

Pode-se observar que a temperatura média diária varia entre 17°C e 35°C, estando a média anual das temperaturas médias diárias em torno de 25°C.

A umidade relativa do ar varia de um mínimo de 30% nos meses de outubro e novembro, a um máximo de 72% nos meses chuvosos.

Em relação aos ventos, predominam os de direção sudeste: são ventos fracos que atingem velocidade máxima no período seco em torno de 2 m/s.

A insolação varia bastante ao longo do ano, atingindo valores mínimos nos meses de inverno em torno de 6 horas de sol por dia, e máximos nos meses de outubro e novembro, com uma duração média diária de 9,5 horas. O total médio anual varia em torno de 2.800 horas de sol.

Em função dos fatores climáticos acima citados, a evaporação apresenta valores máximos entre 9 e 10 mm por dia nos meses de outubro e novembro, e mínimos nos meses de maio e junho em torno de 5 a 6 mm por dia. Os totais anuais de evaporação variam entre 2.500 a 3.000 mm, com uma média diária de 7,8 mm no período observado.

No gráfico da figura 4.9 são mostradas as isoietas médias anuais da bacia no período observado (1970/77), obtidas a partir dos dados dos pluviômetros existentes na bacia.

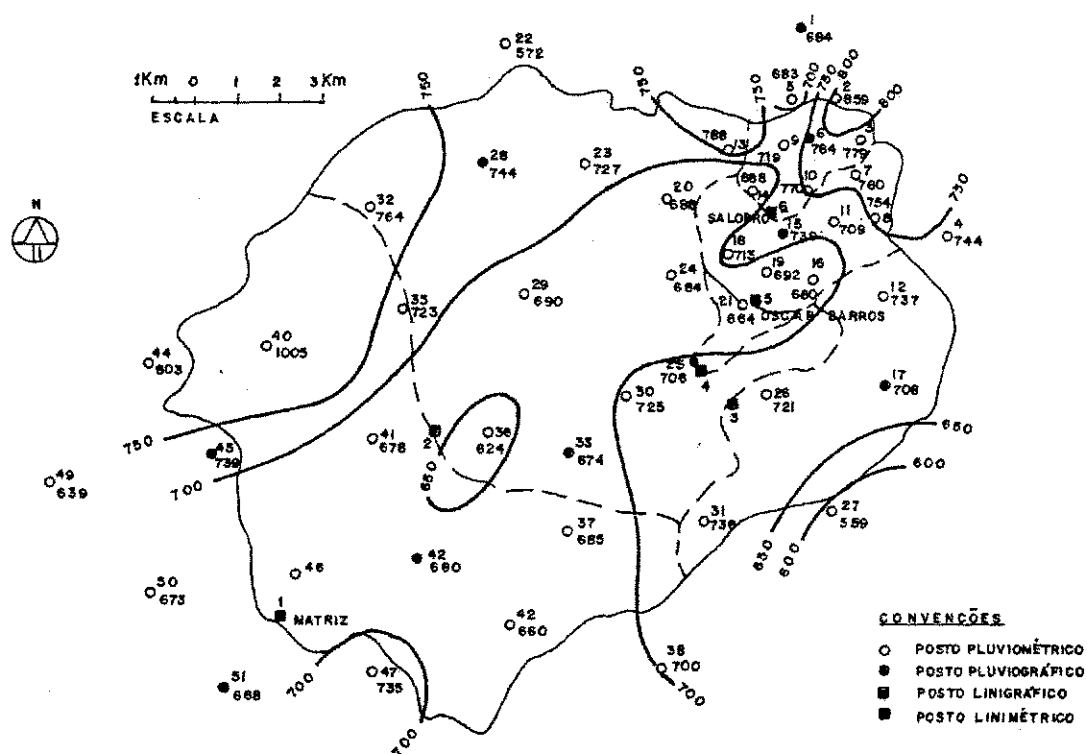


Figura 4.9 - Isoietas médias anuais da Bacia do Riacho do Navio - Período: 1970-77.
Fonte: SUDENE, 1979

As precipitações na bacia apresentam um ciclo curto e irregular, característico de clima semi-árido, com duas estações bem marcantes: uma seca (verão), e outra com chuva (inverno) quando ocorrem cerca de 75% das precipitações.

As chuvas na região são, geralmente, inferiores à evapotranspiração potencial, ocasionando baixos coeficientes de escoamento, verificando-se, em média, ausência total de escoamento durante seis meses do ano.

É nos meses de março e abril que ocorre a maior parte dos escoamentos, tornando-se fracos ou desprezíveis a partir de julho. No início do inverno o escoamento apresenta-se intermitente e os rios secam entre duas chuvas consecutivas, quando estas não são abundantes. Quando o são, o escoamento permanece de um a três meses seguidos.

4.2.2 - Características físicas e morfológicas da Bacia do Riacho do Navio

O relevo se apresenta forte a ondulado na parte superior da sub-bacia de Salobro (60% da área), com afloramentos de rocha. O restante da área da Bacia do Riacho do Navio tem declives mais suaves, classificando-se como moderado, (Figura 4.10).

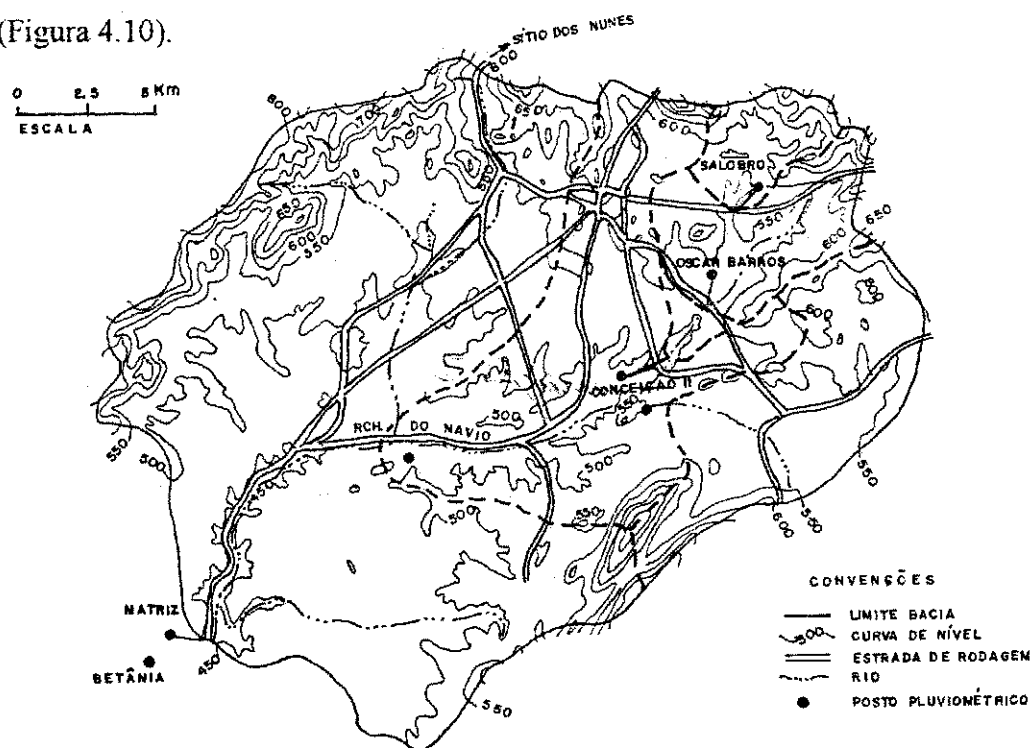


Figura 4.10 - Relevo da Bacia do Riacho do Navio
Fonte: SUDENE (1979)

Na figura 4.11 é mostrada a rede hidrográfica da Bacia do Riacho do Navio, constituída de cursos d'água intermitentes, observando-se a presença de alguns açudes construídos ao longo da bacia que controlam cerca de 120 Km² da área de drenagem de Matriz. Destacam-se os açudes Conceição (49 Km²), localizado logo a jusante de Oscar Barros e o Aterro Barragem Riacho do Saco (64 Km²), (SUDENE, 1979).

A bacia do Riacho do Navio apresenta uma drenagem relativamente fraca, com o sub-solo impermeável (cristalino). Os depósitos aluviais são bastante reduzidos, e os aquíferos são bastante rasos.

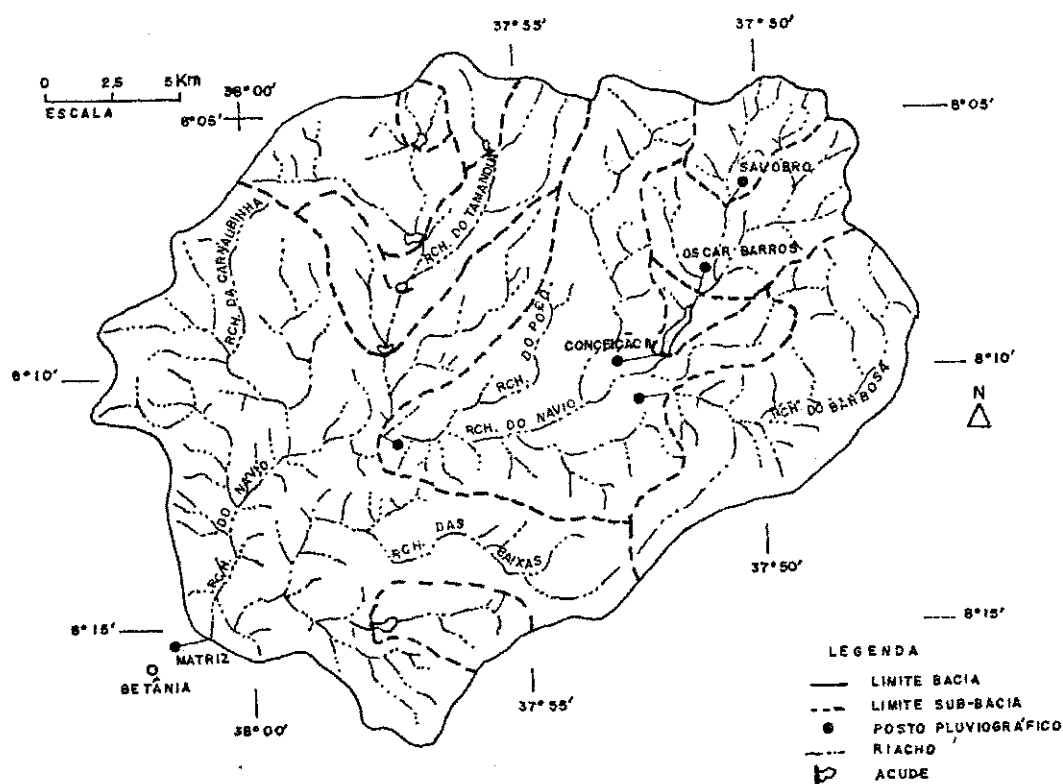


Figura 4.11 - Drenagem da Bacia do Riacho do Navio
Fonte: SUDENE (1979)

A Bacia do Riacho do Navio apresenta pouca variedade litológica de idade pré-cambriana, com predominância de granito intrusivo e áreas com micaxistos, paragneisses e migmatitos. O sub-solo é de cristalino, com alimentação hídrica através dos riachos fendas.

O mapa geológico mostrado na figura 4.12, apresenta 95% da área da sub-bacia de Salobro em granito, e apenas 5% de migmatito.

Oscar Barros apresenta-se com 45% da área em granito e o restante em

migmatito, enquanto Matriz tem cerca de 60% da área em granito e 40% em migmatito.

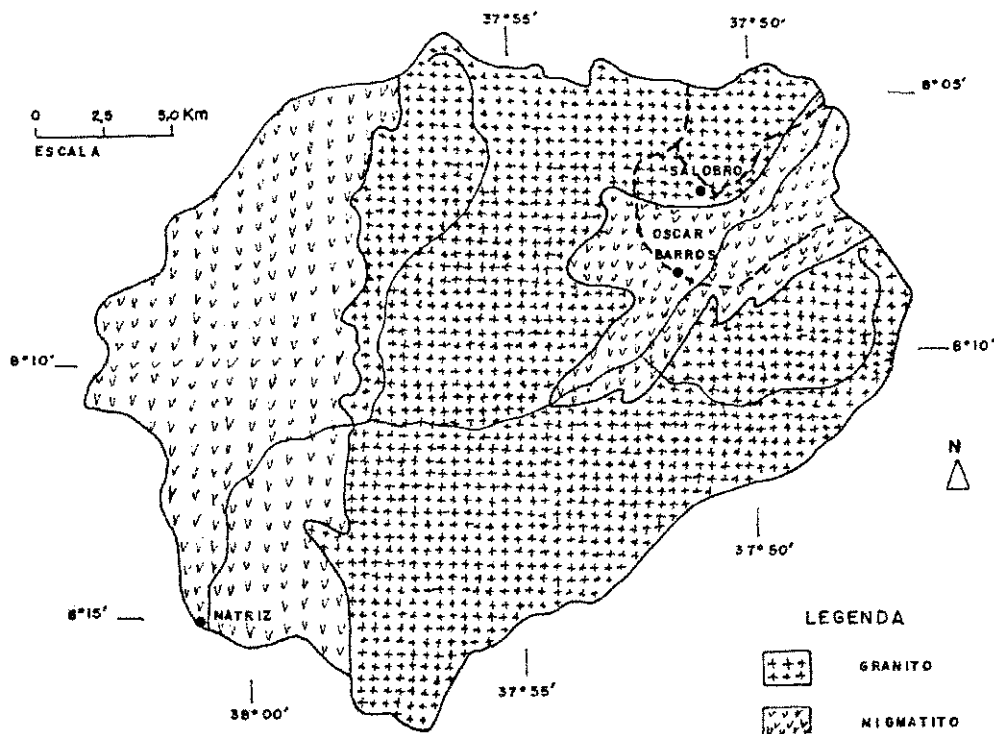


Figura 4.12 - Mapa geológico da Bacia do Riacho do Navio
Fonte: SUDENE (1979)

A sub-bacia de Salobro apresenta solos litólicos em 16% da área: são solos rasos, boa permeabilidade, com espessura média de 30 cm e com afloramento rochoso. Em 81% da área desta sub-bacia predominam os regossolos, um pouco mais profundos, permeáveis, situados nos relevos mais fracos. Possuem coeficientes de armazenamento e de infiltração mais elevados que os solos litólicos.

Oscar Barros tem 45% da área em solos litólicos, sendo 30% sobre relevo forte e 15% sobre relevo ondulado a suave-ondulado. Os regossolos representam 53% da área.

Em Matriz, os solos litólicos representam 76% da área e os regossolos 18%. Esta sub-bacia apresenta ainda cerca de 5% da área em planossolos com espessura inferior a 50cm, (Figura 4.13).

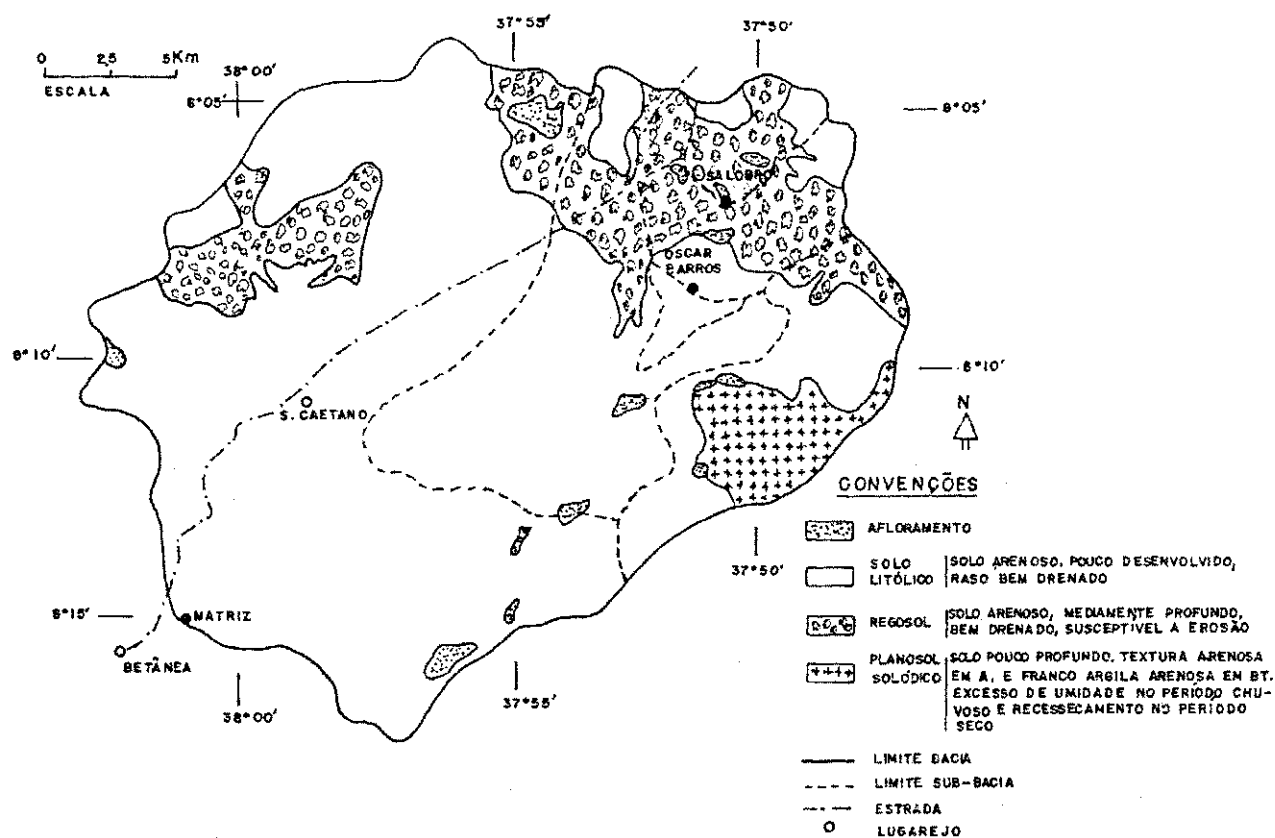


Figura 4.13 - Pedologia da Bacia do Riacho do Navio
Fonte: SUDENE (1979)

Os solos litólicos e boa parte dos regosolos da Bacia do Riacho do Navio, apresentam predominância da caatinga hiperxerófila. Em Salobro observa-se também, em 25% a 30% dos regosolos, algumas áreas agricultáveis (palma, milho, feijão e algodão). Na sub-bacia de Oscar Barros as áreas agricultáveis somam 18% dos regosolos com as mesmas culturas de Salobro. Em Matriz, praticamente toda a área é em caatinga hiperxerófila, restando apenas 12% em áreas agricultáveis, (SUDENE, 1979).

4.2.3 - Parâmetros físicos das sub-bacias do Riacho do Navio

Na tabela 4.2 são apresentados os parâmetros físicos das sub-bacias do Riacho do Navio, obtidos através das plantas topográficas na escala 1:100.000, folhas SC 24-X-A-II - BETÂNIA e SC 24-X-A-III - CUSTÓDIA, da SUDENE, datadas de 1972.

Tabela 4.2 - Parâmetros físicos da Bacia do Riacho do Navio

PARÂMETROS FÍSICOS	UNIDADE	SUB - BACIAS		
		SALOBRO	O. BARROS	MATRIZ
1. Área da bacia	Km ²	15,6	45,2	468,0
2. Perímetro	Km	18,1	29,5	90,5
3. Índice de compacidade	-	1,28	1,23	1,17
4. Índice decliv. global	m/Km	27,1	16,8	8,7
5. Desnível específico	m	110	125	200
6. Densidade de drenagem	Km/Km ²	1,70	1,38	1,41
7. Altitude mediana	m	640	580	528
8. Tempo de concentração (método de Kirpich)	min	66	108	377
9. Compr. do rio principal	Km	7,0	11,5	35,7
10. Desnível máximo	m	235	285	335
11. Fração em floresta	%	0	0	0
12. Fração em água(lagos,etc)	%	0	0	0
13. Fração impermeável	%	0	0	0
14. Decliv. méd. esc. superf.	m/m	0,11	0,10	0,10
15. Ext. méd. do esc. superf.	m	147	181	177

CAPÍTULO V

CALIBRAÇÃO DO MODELO E SIMULAÇÕES

A simulação é o processo de utilização do modelo, sendo, em geral, dividida em três etapas: calibração, verificação e aplicação (TUCCI,1987).

A calibração consiste na identificação e avaliação dos parâmetros. Quando não existem dados sobre as variáveis do sistema, a calibração é feita por estimativa dos valores dos parâmetros baseando-se nas informações sobre as características físicas do sistema. Outro método de calibração para a situação exposta, consiste na determinação dos valores dos parâmetros através de medições específicas no sistema, sendo denominado amostragem, (TUCCI,1987).

Quando dados históricos da variável de saída são disponíveis, dois métodos de calibração podem ser utilizados:

- 1- **tentativa e erro**: consiste em ajustar os parâmetros por tentativa, aproximando os valores calculados dos observados;
- 2- **otimização**, que consiste em determinar os valores dos parâmetros através de métodos matemáticos de otimização de uma função-objetivo.

A verificação, segunda etapa no processo de simulação, consiste na utilização do modelo já calibrado com dados diferentes daqueles utilizados na calibragem.

A última etapa do processo de simulação é a aplicação, que consiste na utilização do modelo, ajustado e verificado, para representar situações onde a saída do sistema é desconhecida. São exemplos de aplicação: extensão de séries de vazões; simulação de alternativas de projetos; etc.

Neste trabalho foi utilizado o método de tentativa e erro na calibragem do modelo, que, embora seja extremamente trabalhoso, apresenta a vantagem do acompanhamento do usuário a cada passo da calibração.

No processo de calibragem seguiu-se a seguinte sistemática proposta por HAAN, JOHNSON e BRAKENSIEK (1982): inicialmente foram definidos, para cada sub-bacia, os valores iniciais de cada parâmetro em função das características físicas das mesmas e das relações entre estas características e os parâmetros do

modelo apresentadas no item 5.2 a seguir. A partir destes valores se ajustou, para cada sub-bacia, a vazão total anual; em seguida, foram ajustadas as vazões mensais, aproximando os valores observados dos calculados; e por fim, foi feito o ajuste das vazões diárias comparando os hidrogramas diários calculados e observados, e verificando as estatísticas coeficiente de correlação, desvio padrão, erro absoluto médio e diferenças absolutas.

Os parâmetros obtidos após a calibragem do modelo para o primeiro ano hidrológico foram então utilizados como valores iniciais para a calibração do ano seguinte.

5.1 - PARÂMETROS DO MODELO

Esta versão do modelo KWM utiliza um total de 34 parâmetros, sete dos quais são calibráveis. São definidos a seguir, os parâmetros de determinação direta para entrada no modelo.

5.1.1 - Parâmetros da interceptação

VINTMR (Taxa máxima de interceptação vegetativa): em conformidade com a vegetação de caatinga hiperxerófila, predominante em todas as sub-bacias estudadas, fixou-se o valor mínimo para esse parâmetro segundo a Tabela 3.1, ou seja: $VINTMR = 0,1$ in/hr.

FFOR (Fração em floresta): como não existem florestas em nenhuma das sub-bacias estudadas, fixou-se $FFOR = 0,0$.

5.1.2 - Parâmetros para as áreas impermeáveis e áreas alagadiças

FIMP (Fração impermeável): embora existam alguns afloramentos rochosos nas sub-bacias, essas áreas são localizadas e não drenam diretamente nos canais e, como também não existem aglomerados urbanos significativos nas mesmas, considerou-se $FIMP = 0,0$ para todas as sub-bacias estudadas.

FWTR (Fração em água): são poucas as barragens existentes nas duas bacias e suas áreas alagadas são desprezíveis em relação à área da sub-bacia a qual pertencem, portanto, $FWTR = 0,0$ em todas as sub-bacias.

5.1.3 - Parâmetros de evapotranspiração

ETLF (Fator de perdas por evapotranspiração da zona inferior do solo): embora esse parâmetro seja considerado no modelo como calibrável, variando de 0,05 a 0,60 para terreno muito árido a terreno com cobertura florestal densa, optou-se também por fixá-lo em função da Tabela 3.2, apresentada pelos autores do modelo, face às características climáticas do semi-árido nordestino. Após a calibração do modelo, foram feitas diversas tentativas variando o valor de *ETLF* sem contudo, obter melhores resultados, o que confirmou o valor estabelecido para esse parâmetro: $ETLF = 0,23$.

GWETF (Fator de transpiração direta de água subterrânea): devido a inexistência de vegetação freatófita na região, fixou-se $GWETF = 0,0$.

5.1.4 - Parâmetros das condições iniciais dos armazenamentos

Todos os armazenamentos iniciais foram considerados nulos face à ausência de chuvas marcantes nos meses de agosto e setembro, iniciando-se o ano hidrológico em 1^o de outubro de cada ano, com o solo praticamente seco no período observado. Considerou-se, portanto, para todas as sub-bacias:

UZS (Armazenamento inicial da zona superior) = 0,0

LZS (Armazenamento inicial da zona inferior) = 0,0

IFS (Armazenamento hipodérmico inicial) = 0,0

GWS (Armazenamento subterrâneo, ou básico, inicial) = 0,0

5.1.5 - Parâmetros do fluxo subterrâneo

SUBWF (Afluxo de sub-superfície): como a camada impermeável do cristalino é muito próxima à superfície, não foram consideradas perdas do armazenamento subterrâneo para bacias limítrofes ou mesmo para o armazenamento subterrâneo inativo, adotando-se, para todas as sub-bacias: $SUBWF = 0,0$.

BFNLR (Parâmetro de recessão não linear do escoamento subterrâneo): a condição de linearidade foi testada com resultados satisfatórios em relação a recessão do fluxo básico nas bacias estudadas, portanto, considerou-se $BFNLR = 0,0$.

BFNX (Fator de não linearidade do fluxo subterrâneo): o valor é calculado como 97% do seu valor no dia anterior acrescido do volume de entrada do dia considerado.

Como *BFNLR* é zero, o valor de *BFNX* não modifica a linearidade da

recessão do fluxo básico. Pode, portanto, ter qualquer valor inicial. Nesse trabalho foi sempre considerado $BFNX = 1,0$.

5.1.6 - Parâmetros de recessão

Esses parâmetros também podem ser calibrados pelo modelo, porém, através da técnica de decomposição da recessão de hidrogramas em papel monologarítimo, pode-se também obter os valores correspondentes às constantes de recessão do fluxo subterrâneo ($BFRC$) e do fluxo hipodérmico ($IFRC$). Vários hidrogramas foram selecionados para cada sub-bacia (SUDENE, 1979;1982), obtendo-se os valores médios mostrados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Parâmetros de recessão

PARÂMETRO	SUB-BACIAS DO RIACHO DO NAVIO			SUB-BACIAS DE SUME		
	SALOBRO	O. BARROS	MATRIZ	JATOBÁ	LMBURANA	GANGORRA
$BFRC$	0,980	0,976	0,851	0,839	0,753	0,697
$IFRC$	0,800	0,680	0,788	0,798	0,861	0,799

5.1.7 - Parâmetros de transporte nos canais

$NCTRI$ (Número de incrementos no tempo corrente de translação): ou ainda, número de intervalos entre isócronas do histograma TEMPO x ÁREA.

$CTRI$ (Percentagens das áreas medidas entre isócronas): os valores desses parâmetros foram obtidos pelo cálculo do histograma TEMPO x ÁREA para cada sub-bacia, (VIESSMAN et alii, 1989). Os histogramas TEMPO x ÁREA foram traçados para intervalos de tempo de uma hora.

$CSRX$ (Capacidade de armazenamento nos canais de fluxo): representa a constante de recessão diária da água armazenada nos canais. É determinada através da equação 38, apresentada no Capítulo III, quando aplicada para baixas vazões nos canais.

$FSRX$ (Capacidade de armazenamento nos canais de fluxo incluindo os planos de cheia dos canais): determinada da mesma forma que $CSRX$, porém, aplicando a equação 38 para vazões de cheia, superiores ao dobro da capacidade dos canais.

$CHCAP$ (Capacidade dos canais, indexada à saída da bacia): os valores desse índice foram obtidos a partir das informações dos Relatórios da

SUDENE sobre as vazões observadas nas sub-bacias para diferentes períodos de retorno. O valor de *CHCAP* é igual à vazão correspondente à cheia com período de retorno de 1,5 anos.

A tabela 5.2 resume os valores obtidos para os parâmetros referentes ao sistema de canais das sub-bacias estudadas.

Tabela 5.2 - Parâmetros de transporte nos canais

PARÂMETROS	SUB-BACIAS DO RIACHO DO NAVIO			SUB-BACIAS DE SUMÉ		
	SALOBRO	O. BARROS	MATRIZ	JATOBÁ	UMBURANA	GANGORRA
<i>NCTRI</i>	1	2	7	2	2	6
<i>CTRI</i> (%)	100	49,51	4;12;22;23; 19;15 e 5	34,66	45,55	10;26;28 18;11 e 7
<i>CSRX</i>	0,987	0,977	0,959	0,659	0,827	0,906
<i>FSRX</i>	0,986	0,979	0,954	0,867	0,792	0,877
<i>CHCAP</i> (m ³ /s)	15,6	34,7	118,0	11,8	18,5	27,6

5.1.8 - Parâmetros da bacia

Esses parâmetros de determinação direta correspondem às principais características físicas e geomorfológicas das sub-bacias estudadas e os valores correspondentes podem ser encontrados nas tabelas 4.1 e 4.2 apresentadas no capítulo anterior.

5.1.9 - Outros parâmetros

RGPM (Fator de ajuste da precipitação): esse parâmetro é utilizado quando se observa diferença entre a precipitação média anual da estação de medição (pluviográfica) e a precipitação média anual sobre a bacia. Optou-se, nesse trabalho, por ajustar a precipitação horária através de um outro método, fixando-se o valor de *RGPM* = 1,0.

RMPF (Parâmetro gerador de vazões horárias): esse parâmetro é utilizado pelo modelo para provocar a saída de vazões horárias sintéticas antes e após o transporte das mesmas nos canais. *RMPF* é o valor da vazão abaixo do qual nenhum dado sintético será impresso (saída). Estas vazões são mostradas pela saída do modelo juntamente com a hora e o dia do ano em que foram simuladas.

5.2 - PARÂMETROS CALIBRÁVEIS DO MODELO

Antes de se iniciar o processo de calibragem, procedeu-se com uma análise das características físicas e morfológicas de cada sub-bacia apresentada no capítulo anterior, visando definir valores iniciais para cada parâmetro calibrável do modelo, a fim de evitar valores incompatíveis com as características da região estudada.

A seguir são feitas algumas considerações gerais sobre os parâmetros calibráveis do modelo, baseadas em resultados obtidos pela aplicação dos modelos SWM e KWM em diferentes bacias de diversas partes do mundo, apresentados nos trabalhos de MILLER, 1968; LIOU, 1970; ROSS, 1970; JAMES, 1970; EGBUNIWE e TODD, 1976; MAGETTE et alii, 1976; e TINGSANCHALI et alii, 1990.

Para cada parâmetro descrito a seguir, são apresentadas considerações sobre as alterações que ocorrem nas vazões simuladas em função da variação desse parâmetro.

LZC - Parâmetro da capacidade nominal de armazenamento na zona inferior

É um índice da capacidade de armazenamento de água no solo, que controla direta ou indiretamente a simulação das taxas de infiltração, evaporação, e percolação para o armazenamento subterrâneo.

Aumentando ***LZC***, diminui a vazão superficial, com a maior diminuição ocorrendo no final dos meses úmidos, quando a precipitação não é mais capaz de saturar a capacidade de armazenamento disponível. As vazões superficiais decrescem sensivelmente nos meses úmidos após longas estações secas pois, mais água precisará infiltrar no solo para completar o armazenamento na zona inferior.

Aumentando ***LZC***, diminui o escoamento hipodérmico e o básico nos meses úmidos, ocorrendo o inverso nos meses secos de verão. Isto se verifica porque a capacidade de armazenamento do solo é tal que menos água é disponível para contribuir com os escoamentos hipodérmico e básico. Por outro lado, a maior umidade do solo contribui com o escoamento básico nos meses secos e contribui indiretamente com o escoamento hipodérmico devido o solo estar úmido durante os períodos chuvosos.

A consistência com que o escoamento superficial decresce com o aumento de ***LZC*** é indicativa de que o seu ajuste seja feito em função deste

escoamento. Foi essa a orientação seguida nas calibrações desse parâmetro, partindo-se sempre da estimativa inicial proposta pelos autores do modelo, através da equação 4.

BUZC - Fator de capacidade básica de armazenamento da zona superior

Relaciona a capacidade da superfície do solo de reter água com o armazenamento devido a intercepção e depressões.

Aumentando **BUZC**, aumentam diretamente as vazões simuladas nos meses úmidos, e diminuem as vazões de verão com o maior decréscimo ocorrendo de setembro a dezembro, quando são observadas chuvas nestes meses.

SUZC - Fator da variação sazonal da capacidade de armazenamento na zona superior do solo

Este parâmetro é usado no modelo para levar em consideração o acréscimo na capacidade de armazenamento da zona superior nas estações de plantio.

Aumentando **SUZC**, reduz o escoamento superficial total durante os meses de verão, particularmente aqueles com atividade significativa, e reduz o escoamento básico de uma quantidade progressivamente maior durante o verão.

Se a superfície da bacia é capaz de reter muita umidade, haverá redução do escoamento superficial para chuvas de grande duração, não haverá escoamento superficial para chuvas de curta duração e a água permanecerá próximo à superfície até evaporar. A infiltração no verão diminuirá e haverá contribuição gradual de água subterrânea. Se pequenas ou nenhuma chuva ocorrer em agosto e setembro, as vazões nesses meses serão bem baixas ou mesmo nulas.

ETLF - Fator de evapotranspiração da zona inferior

Este parâmetro é usado para estimar o volume de evapotranspiração da zona inferior, estando relacionado com a cobertura vegetal da bacia.

Desde que o modelo inicia a ocorrência de evapotranspiração da zona inferior somente após ter se exaurido o armazenamento da zona superior (e, por isto, a mesma não ocorre durante o período chuvoso de baixa evaporação), altos valores de **ETLF** são inicialmente associados com total exaustão da umidade do solo durante o verão.

Aumentando *ETLF*, as vazões decrescem ao longo do ano, porém, o maior decréscimo ocorre nas vazões dos meses de verão. O decréscimo torna-se progressivamente maior até a primeira maior chuva de inverno.

Neste trabalho fixou-se o valor do parâmetro *ETLF* em 0,23 segundo orientação dos autores do modelo apresentada na tabela 3.2.

SIAC - Constante de ajuste sazonal da infiltração

Relaciona taxas de infiltração com evaporação antecedente para considerar infiltrações mais rápidas que ocorrem durante os períodos quentes.

Se *SIAC* for nulo, a taxa de infiltração sazonal será constante. Quando o valor de *SIAC* é aumentado, as taxas de infiltração são reduzidas no inverno e acrescidas no verão e, conseqüentemente, as vazões dos meses de inverno aumentam e as de verão diminuem.

BMIR - Taxa básica de infiltração máxima

É o parâmetro usado no modelo para controlar a taxa de infiltração de água da superfície da bacia no solo. Conceitualmente, o parâmetro é um máximo em dois sentidos. Ele é a capacidade máxima de infiltração que pode ocorrer considerando as condições atuais do solo, se o suprimento de água no solo não tem limitações. Também é a capacidade máxima se representar a taxa do ponto mais afastado da bacia. Mais especificamente, a infiltração sobre a bacia como um todo é modelada assumindo uma variação linear da capacidade de infiltração pontual com a fração da área da bacia, de zero a um valor máximo, *BMIR*. O valor máximo é ajustado de acordo com a estação do ano e com o armazenamento atual de umidade no solo.

Como índice básico de infiltração da bacia, *BMIR* governa o volume de escoamento superficial sintetizado durante as chuvas controlando a recarga da bacia, e regula o volume de escoamento básico controlando a percolação para o armazenamento subterrâneo.

Aumentando *BMIR*, diminui o fluxo superficial durante os meses de inverno de baixas vazões, convertendo o escoamento superficial diretamente em recarga da bacia. Diminui mais moderadamente o fluxo superficial durante os meses de vazões mais altas, porque uma quantidade fixa de infiltração é uma pequena parte da precipitação total. E ainda, aumenta as vazões superficiais sintetizadas a partir das

chuvas seguintes a períodos secos prolongados devido ao aumento do armazenamento de umidade do solo.

Aumentando *BMIR*, também diminui o escoamento hipodérmico nos meses de vazões baixas mas, aumenta o interfluxo nos meses de vazões altas.

Aumentando *BMIR*, aumenta o escoamento básico, e o maior aumento ocorre imediatamente após o período de recarga e será então progressivamente reduzido durante os meses de baixas vazões.

BIVF - Fator básico do volume do escoamento hipodérmico

Controla o volume do interfluxo simulado, ou seja, controla a divisão da água que não infiltra no solo entre escoamento hipodérmico e escoamento superficial direto. Portanto, indiretamente, regula a distribuição temporal do hidrograma correspondente a uma dada chuva.

Altos valores de *BIVF* reduzem o pico do hidrograma e aumentam as vazões posteriores, causando o achatamento da crista do hidrograma.

5.3 - FAIXAS DE VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS ESTIMADOS POR TENTATIVA E ERRO

Os trabalhos existentes na literatura apresentam faixas distintas para variação desses parâmetros, válidas para as regiões em que o modelo foi aplicado.

LIU (1970), apresenta faixas de variação desses parâmetros para aplicação do modelo OPSET em qualquer região, (tabela 5.3). A estrutura básica deste modelo é a mesma do KWM, utilizado nesse trabalho.

VISSMAN et alii (1989), sugerem valores limites para os parâmetros estimados por tentativa e erro através do KWM bem distintos daqueles utilizados no OPSET, (tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Faixas de variação dos parâmetros do modelo

PARÂMETRO DO MODELO	FAIXAS DE VARIAÇÃO	
	OPSET (LIU, 1970)	KWM (VISSMAN et alii, 1989)
<i>LZC</i>	2 a 30 in	2 a 20 in
<i>BUZC</i>	0,2 a 4,0	0,10 a 1,65
<i>SUZC</i>	0,3 a 3,0	0,45 a 2,00
<i>SIAC</i>	0 a 4,0	0,10 a 4,00
<i>BMIR</i>	0,2 a 20,0 in/hr	0,30 a 1,20 in/hr
<i>BIVF</i>	0,4 a 2,5	0,55 a 4,50

Nesse trabalho foram utilizadas, a princípio, as faixas sugeridas por LIOU (1970), extrapolando-se, às vezes, estes limites quando algum parâmetro mostrou melhoria de ajustamento com valores fora da faixa justificados pelas características físicas da bacia. Por outro lado, parâmetros como *LZC* e *BMIR* tiveram seus limites superiores reduzidos também em função das características da região estudada.

5.4 - OPÇÕES DE CONTROLE PARA A SIMULAÇÃO

Além dos 34 parâmetros do modelo enumerados anteriormente, o algoritmo do KWM ainda utiliza um parâmetro de opções de controle para a simulação, denominado *CONOPT* (*CON*trol *OPT*ions), o qual define opções diversas para os dados de entrada e de saída no modelo. Esse parâmetro é lido como um vetor, com valores 0 ou 1. A seguir são definidas as opções de controle e os valores utilizados neste trabalho:

CONOPT(1)=1, permite a leitura de dados referentes a uma determinada cheia a ser avaliada.

CONOPT(3)=0, quando não existe na bacia desvio de vazões.

CONOPT(4)=1, imprime tabela contendo os erros entre as vazões simuladas e as observadas.

CONOPT(6)=1, grava, nos arquivos de saída do modelo, os armazenamentos d'água no solo e os valores dos dados de entrada de temperatura máxima e mínima.

CONOPT(7)=0, não considera neve na bacia estudada.

CONOPT(8)=0, imprime vazões para uma hora e dia especificados.

CONOPT(9)=1, permite a leitura de vazões diárias observadas. É considerado zero na fase de aplicação do modelo.

CONOPT(10)=0, ajusta as precipitações horárias através do método original apresentado no modelo. Foi considerado igual a 1 para permitir o ajuste das precipitações horárias pelo novo método introduzido neste trabalho, o qual corrige as precipitações horárias pela chuva média na bacia.

CONOPT(11)=0, permite a leitura dos dados em unidades do sistema métrico internacional.

Os *CONOPT(2)* e *(5)* não são utilizados nesta versão do modelo KWM.

5.5 - APLICAÇÃO DO MODELO PARA AS BACIAS DE SUMÉ E DO RIACHO DO NAVIO

São apresentadas a seguir algumas considerações sobre os diferentes aspectos da simulação em cada uma das bacias estudadas.

O posto pluviográfico Jatobá, (figura 4.4), utilizado para obtenção das precipitações horárias das sub-bacias de Sumé, está localizado próximo ao centro geométrico da bacia, mostrando uma boa correspondência entre os dias com chuva e as consequentes vazões nas saídas de cada sub-bacia.

Em relação à bacia do Riacho do Navio, dispunha-se, inicialmente, do posto pluviográfico de Betânia, (figura 4.9), considerado no relatório da SUDENE como o mais representativo das chuvas na bacia.

Ao se analisar as precipitações diárias do posto pluviográfico de Betânia, comparando-as com as vazões diárias nos pontos de controle (saídas) de cada sub-bacia do Riacho do Navio, foram observados dias chuvosos sem, contudo, ter ocorrido escoamento no mesmo dia ou nos dias seguintes. Por outro lado, quando comparadas as precipitações médias diárias de cada sub-bacia, fornecidas pela SUDENE para o período estudado, com as vazões de saída, observou-se a existência de escoamento no mesmo dia ou nos dias subsequentes, com raras exceções.

Face ao exposto, foram comparados os totais diários de precipitação em Betânia e as médias diárias de precipitação nas três sub-bacias estudadas. Observou-se que os dados pluviográficos do posto de Betânia não apresentaram boa correlação com a pluviometria média das sub-bacias, o que levou a descartar este posto.

Foi analisado, de forma análoga, o posto pluviográfico Conceição II, localizado próximo ao centro da bacia do Riacho do Navio, (figura 4.9), o qual dispõe de quatro anos de dados pluviográficos. Este posto apresentou melhor correlação com as precipitações médias diárias das três sub-bacias.

De posse destas informações, várias tentativas de calibragem foram feitas utilizando-se os postos pluviográficos Jatobá em Sumé/PB e Conceição II em Riacho do Navio/PE, tendo-se observado ainda a ocorrência dos seguintes problemas:

- 1) vazões foram registradas em alguns períodos e o modelo não simulou estas vazões de saída face a inexistência de registro de precipitação nos postos pluviográficos. Entretanto, observou-se que a precipitação média na sub-bacia considerada era

compatível com a lâmina escoada;

2) ocorreram defasagens nos hidrogramas observados e simulados, acontecendo o mesmo entre as precipitações diárias do posto pluviográfico e as precipitações médias nas sub-bacias;

3) vazões foram simuladas pelo modelo em determinados períodos mas não existiam ou eram insignificantes as vazões observadas nestes períodos. Observou-se que o posto pluviográfico apresentou precipitações nesses dias, o que obviamente resultou nas vazões simuladas, enquanto eram inexpressíveis as precipitações médias diárias.

Devido a correlação existente entre as precipitações médias diárias e as vazões de saída de cada sub-bacia, decidiu-se utilizar essas precipitações médias diárias para ajustar as precipitações horárias dos postos pluviográficos Jatobá e Conceição II, utilizados nas simulações das vazões em Sumé/PB e Riacho do Navio/PE, respectivamente. Foi então utilizado o parâmetro *RGPM*, definido no item 3.4.2, com o objetivo de ajustar as precipitações horárias porém, não melhorou os resultados obtidos durante a calibragem do modelo.

Além desse parâmetro o modelo KWM apresenta a possibilidade da utilização de uma ou mais estações pluviométricas para corrigir as precipitações da estação pluviográfica, através de um fator de peso (*WSG*) a ser atribuído para cada estação. Este fator é estimado como descrito a seguir.

Para grandes bacias hidrológicas é utilizado o método do Polígono de Thiessen que considera a precipitação em um ponto qualquer da bacia melhor representada pela estação que lhe estiver mais próxima.

Para bacias menores, considera-se que a precipitação varia linearmente com a distância entre as duas estações, (ROSS, 1970). Neste caso *WSG* é obtido conforme foi descrito no item 3.4.2.

Para as bacias estudadas, dispunha-se da pluviometria média diária de cada sub-bacia que não possibilitou a aplicação deste método. Tornou-se então necessário desenvolver um novo método de ajuste das precipitações horárias a partir da precipitação média diária nas sub-bacias, o qual foi introduzido no modelo original.

Neste novo método, as precipitações horárias do pluviógrafo são acumuladas e seus valores comparados com a média diária da bacia da seguinte maneira: se, para um mesmo dia, a precipitação média diária for maior ou igual a 1/3 ou menor ou igual a 3 vezes a precipitação total diária do pluviógrafo, é calculado

um fator de correção como a razão entre a precipitação média diária da sub-bacia e a precipitação total diária acumulada dos dados horários do pluviógrafo. O fator de correção irá modificar todas as precipitações horárias daquele dia. O cálculo não é feito quando o total acumulado das precipitações horárias no dia considerado for nulo ou quando a precipitação média diária extrapolar o intervalo pré-definido para a precipitação total diária do pluviógrafo. Nesses casos se, para um dia qualquer, existe precipitação média na sub-bacia, esta precipitação média é distribuída linearmente nas 24 horas do dia.

Em seguida, a precipitação média diária da sub-bacia é comparada com a precipitação diária do pluviógrafo a partir dos dados do dia posterior. Se a média diária estiver contida no mesmo intervalo pré-estabelecido, o fator de correção é calculado como a razão entre elas.

Este método apresenta a vantagem de corrigir as precipitações horárias considerando a variação temporal das chuvas além de limitar a correção para valores contidos no intervalo pré-definido.

Com esse ajuste das precipitações horárias os hidrogramas de saída simulados se mostraram mais coerentes com os observados.

5.5.1 - Calibração na bacia de Sumé

A calibragem em Sumé foi efetuada para todos os cinco anos hidrológicos (75/76 a 79/80), em todas as sub-bacias, exceto Umburana, por não ter havido escoamento no último ano hidrológico (79/80).

Inicialmente, os hidrogramas simulados só se apresentavam próximos dos hidrogramas observados quando os parâmetros assumiam valores incoerentes com as características físicas das bacias e com as faixas de variação correspondentes, apresentadas no item 5.3. Verificou-se que a provável causa deste problema era a incoerência entre as precipitações horárias ajustadas e as correspondentes vazões relativas às cheias.

Uma análise mais detalhada dos hietogramas relativos às cheias ocorridas no período, apresentados no relatório da SUDENE, permitiu ajustar melhor as precipitações horárias referentes a tais cheias, substituindo-se os dados originais do pluviógrafo pelas precipitações horárias obtidas desses hietogramas, tendo-se obtido melhores hidrogramas de saída.

Outro fato observado foi que o melhor coeficiente de correlação (R^2)

apresentado durante a calibragem do modelo nem sempre representava os melhores hidrogramas de saída, e que até algumas variações efetuadas nos parâmetros não provocavam variações significativas no coeficiente de correlação, enquanto variavam os hidrogramas simulados.

Face ao exposto, decidiu-se, nessa etapa do trabalho, utilizar uma outra estatística a fim de comparar com os resultados obtidos pelo coeficiente de correlação. A função escolhida foi o coeficiente de Nash-Sutcliffe que é definido pela equação:

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_r - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_r - Q_{rm})^2} \right] \quad (40)$$

onde: Q_r e Q_s são as vazões diárias registradas e simuladas, respectivamente,

Q_{rm} é a média das vazões diárias registradas,

n é o número de vazões diárias registradas.

O termo $\sum (Q_r - Q_s)^2$ é análogo a "variância residual" de uma análise de regressão, e o termo: $\sum (Q_r - Q_{rm})^2$ é a "variância inicial", também definida como valor "não modelado" da variância residual, onde as vazões simuladas são substituídas pela vazão média observada, Q_{rm} , (MARTINEC & RANGO, 1989).

Quando os valores dos parâmetros do modelo tendem aos valores ótimos, o termo $\sum (Q_r - Q_s)^2$ tende a zero e o coeficiente de Nash-Sutcliffe tende para a unidade. Nash e Sutcliffe estabelecem que a significância e a precisão dos valores dos parâmetros do modelo são aceitáveis quando o coeficiente é superior a 0,95 porém, consideram também que o coeficiente não é um critério suficientemente discriminatório para avaliar a sensibilidade do modelo em relação a cada um dos parâmetros, (MARTINEC & RANGO, 1989).

Convém observar ainda que a média das vazões diárias registradas pode ser calculada tanto para o ano ou período simulado como também a partir de anos anteriores, como a média de longo termo. No primeiro caso, os resultados numéricos obtidos para o coeficiente podem diferir da avaliação visual dos hidrogramas simulados e observados. Este fato ocorre quando se tem, em um determinado período seco, pequenos desvios entre as vazões diárias simuladas e observadas que, no entanto, são bastante significativos em relação à baixa média do

período. Nesse caso, embora os hidrogramas aparentem estar muito próximos, o coeficiente terá valor bem abaixo da unidade. Utilizando a média de longo termo em lugar da média do período, os resultados apresentados pelo coeficiente serão bem melhores. Esse novo coeficiente é denominado "coeficiente de evolução das médias diárias", definido pela WMO (Organização Mundial de Meteorologia), (1986), substituindo a média das vazões diárias do período observado, pela média diária de longo termo, (MARTINEC & RANGO, 1989).

Não foi possível utilizar este coeficiente nesse trabalho, por não se dispor de séries históricas de vazões das sub-bacias estudadas. Portanto, valores abaixo de 0,95 para o coeficiente de Nash-Sutcliffe eram esperados devido às baixas vazões que ocorrem na região semi-árida nordestina, opondo-se a pequenos períodos com cheias marcantes.

A tabela 5.4 apresenta os resultados obtidos na calibragem do modelo para as sub-bacias de Sumé/PB e os hidrogramas correspondentes são apresentados no anexo 1, (Figuras A1.1 a A1.28).

Tabela 5.4 - Calibragem do modelo para a Bacia de Sumé

SUB-BACIA ANO	PARÂMETROS DO MODELO						COEFICIENTES	
	<i>LZC</i>	<i>BUZC</i>	<i>SUZC</i>	<i>SIAC</i>	<i>BMIR</i>	<i>BIVF</i>	R^2	<i>NS</i>
UMBURANA:								
75/76	148	1,14	0,30	4,00	8	0,76	0,9799	0,9621
76/77	150	1,10	0,30	4,00	8	0,85	0,9758	0,9440
77/78	300	1,20	0,49	3,50	35	1,20	0,7469	0,2474
78/79	109	0,83	0,30	4,00	8	0,76	0,9478	0,8995
JATOBA:								
75/76	130	0,75	0,51	1,00	19	0,97	0,8952	0,7996
76/77	183	1,51	0,66	0,80	19	1,08	0,9555	0,9319
77/78	160	0,59	0,66	4,00	30	2,22	0,9046	0,8598
78/79	121	1,30	0,62	0,80	11	1,19	0,9457	0,9003
79/80	211	1,54	0,54	1,00	20	0,79	0,9646	0,9500
GANGORRA:								
75/76	239	0,82	0,37	1,70	17	1,00	0,9485	0,9073
76/77	320	0,65	0,35	0,12	30	2,30	0,9113	0,8367
77/78	240	0,70	0,30	4,00	30	4,50	0,8044	0,7108
78/79	270	0,90	0,38	2,00	18	1,05	0,9758	0,9525
79/80	287	1,04	0,43	4,00	30	1,08	0,7197	0,5340

Analisando os parâmetros obtidos para Umburana (tabela 5.4), observa-se que para o ano hidrológico 77/78, a calibragem resultou em valores discrepantes para todos os parâmetros em relação aos valores obtidos para os demais anos, apresentando também os piores valores para as estatísticas R^2 e *NS*.

Segundo os dados do Relatório da SUDENE (1982), Umburana apresentou precipitação total anual de 961,4 mm nesse ano hidrológico, a maior do período observado, com chuvas marcantes em dezembro e de fevereiro a maio, porém, só há escoamento registrado do dia 1^o ao dia 18 do mês de março e em alguns dias, sem continuidade, nos meses de abril e maio. Face a esta situação, as discrepâncias parecem uma consequência.

As sub-bacias de Jatobá e Gangorra apresentaram grande variação em todos os parâmetros obtidos da calibragem do modelo para os cinco anos simulados. Gangorra apresentou baixos coeficientes R^2 e NS no ano hidrológico 79/80, o mais seco do período observado com um total de apenas 352,4 mm de precipitação anual e descarga média anual de 0,80 ℓ/s , (SUDENE, 1982).

A partir dos valores anuais apresentados na tabela 5.4, foram calculadas as médias de cada parâmetro, para cada sub-bacia, as quais foram utilizadas no modelo para cada ano hidrológico, obtendo-se as estatísticas apresentadas na tabela 5.5. No cálculo dos valores médios para a sub-bacia de Umburana foi excluído o ano 77/78.

Observa-se, pela tabela 5.5, que o coeficiente de Nash-Sutcliffe é bem mais sensível às variações nos parâmetros do modelo do que o coeficiente de correlação.

Tabela 5.5 - Simulações com os valores médios dos parâmetros - Bacia de Sumé

SUB-BACIA ANO	VALORES MEDIOS DOS PARÂMETROS						COEFICIENTES	
	LZC	BUZC	SUZC	SIAC	BMIR	BIVF	R^2	NS
UMBURANA:	136	1,02	0,30	4,00	8	0,79		
75/76							0,9776	0,9262
76/77							0,9686	0,9208
77/78							0,6489	-11,7066
78/79							0,9473	0,6225
JATOBA:	161	1,14	0,60	1,50	20	1,25		
75/76							0,7750	0,1450
76/77							0,9481	0,7821
77/78							0,7916	0,2264
78/79							0,9345	0,7609
79/80							0,8685	0,5015
GANGORRA:	271	0,82	0,37	2,40	25	1,99		
75/76							0,6068	0,3066
76/77							0,9173	0,6650
77/78							0,6586	0,4477
78/79							0,8169	0,6188
79/80							0,6030	-4,8698

Os hidrogramas correspondentes a essas simulações são apresentados no anexo 1, (figuras A1.29 a A1.56).

5.4.2 - Calibração na bacia do Riacho do Navio

Por não se dispor dos hidrogramas relativos às cheias nas sub-bacias do Riacho do Navio, não foi possível realizar o ajuste das precipitações horárias do posto pluviográfico Conceição II correspondentes a estes eventos, obtendo-se uma calibragem pouco precisa nas mesmas.

A calibração foi feita no período 73/74 a 76/77, para cada ano hidrológico, individualmente, obtendo-se os parâmetros apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Calibragem do modelo para a Bacia do Riacho do Navio

SUB-BACIA ANO	PARÂMETROS DO MODELO						COEFICIENTES	
	LZC	BUZC	SUZC	SIAC	BMIR	BIVF	R ²	NS
SALOBRO:								
73/74	161	2,06	0,30	0,76	30	4,50	0,8197	0,7610
74/75	293	0,53	0,34	0,10	30	4,24	0,8307	0,7155
75/76	392	0,72	0,42	3,00	30	1,96	0,8222	0,6994
76/77	50	1,45	0,30	4,00	30	4,50	0,6889	0,5029
O. BARROS:								
73/74	137	1,09	0,63	0,95	30	1,93	0,8480	0,7952
74/75	379	0,10	0,83	0,33	26	4,50	0,8540	0,7575
75/76	134	0,86	0,66	4,00	22	2,62	0,7774	0,6312
76/77	50	1,17	0,65	4,00	24	4,50	0,6437	0,4317
MATRIZ:								
73/74	141	1,20	0,48	0,10	20	2,50	0,8112	0,7609
74/75	172	0,80	0,50	0,10	30	2,50	0,8132	0,6101
75/76	137	0,59	0,40	0,10	20	2,50	0,9008	0,8211
76/77	150	0,64	0,42	0,10	20	1,90	0,8242	0,6893

Observa-se, pela tabela 5.6, que todas as sub-bacias do Riacho do Navio apresentaram grandes variações nos valores dos parâmetros obtidos na calibragem do modelo.

A sub-bacia Matriz apresentou maior uniformidade em todos os parâmetros obtidos, exceto *BUZC*.

Os hidrogramas correspondentes às simulações nas sub-bacias do Riacho do Navio, para cada ano hidrológico, são apresentados no anexo 2, (figuras A2.1 a A2.24).

Na tabela 5.7 são apresentados os valores médios dos parâmetros para o período simulado juntamente com as estatísticas R^2 e NS , obtidas através da

utilização do modelo com estes valores médios nas sub-bacias do Riacho do Navio. Os hidrogramas correspondentes a estas simulações são mostrados no anexo 2, (figuras A2.25 a A2.48).

Tabela 5.7 - Simulações com os valores médios dos parâmetros - Bacia do Riacho do Navio

SUB-BACIA ANO	VALORES MEDIOS DOS PARÂMETROS						COEFICIENTES	
	LZC	BUZC	SUZC	SLAC	BMIR	BIVF	R ²	NS
SALOBRO:	224	1,19	0,34	1,97	30	3,80		
73/74							0,8000	0,7012
74/75							0,6801	0,4147
75/76							0,6746	0,4184
76/77							0,3673	0,0620
O. BARROS:	175	0,81	0,69	2,32	26	3,39		
73/74							0,8365	0,7969
74/75							0,7073	-0,2077
75/76							0,4606	-0,4825
76/77							0,1064	-7,9557
MATRIZ:	150	0,81	0,45	0,10	22	2,35		
73/74							0,7840	0,6247
74/75							0,7795	0,6204
75/76							0,9091	0,1956
76/77							0,6609	0,1085

Com base nessas informações, verifica-se que o modelo não apresentou resultados satisfatórios para nenhuma sub-bacia do Riacho do Navio.

5.6 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO

A sensibilidade do modelo em relação a cada parâmetro é muito útil na formulação, calibração e verificação do modelo hidrológico, (MCCUEN, 1973).

Atualmente, a análise de sensibilidade tem sido muito utilizada na definição de métodos computacionais para otimização automática dos parâmetros dos modelos e também, para desenvolver técnicas que determinem o grau com o qual os parâmetros do modelo podem ser relacionados com as características físicas da bacia (IBBITT e O'DONNELL, 1971; MCCUEN, 1973; MACHADO e O'DONNELL, 1977; MEIN e BROWN, 1978; e CALVER, 1988).

Após a etapa de calibração, foi efetuada a análise de sensibilidade do modelo, apresentada na tabela 5.8, na forma descrita a seguir.

Tabela 5.8 - Análise de sensibilidade do modelo (Sumê Pb)

VALORES DOS PARÂMETROS	UMBURANA(75/76) R^2	NS	JATOBA(79/80) R^2	NS	GANÇORRA(78/79) R^2	NS	
<i>LZC</i> (mm)	50	0,9423	-1,1283	0,6088	-25,8072	0,9702	-0,4615
	100	0,9797	0,6145	0,6842	-6,1894	0,9740	0,6533
	150	0,9794	0,9617	0,8841	0,2784	0,9750	0,8560
	200	0,9530	0,7435	0,9617	0,9405	0,9754	0,9238
	250	0,9079	0,4705	0,9550	0,9048	0,9757	0,9482
<i>BZZC</i>	300	0,8703	0,3181	0,9159	0,8000	0,9759	0,9555
	400	0,8346	0,1882	0,8344	0,6470	0,9761	0,9521
	500	0,8305	0,1352	0,7856	0,5707	0,9762	0,9474
	0,2	0,8580	0,1194	0,8389	-12,5437	0,9734	-13,8686
	0,5	0,9319	0,6484	0,8609	-5,4004	0,9738	-2,1293
<i>SUZZC</i>	0,8	0,9712	0,8877	0,8910	-1,5090	0,9754	0,8218
	1,1	0,9802	0,9608	0,9270	0,2636	0,9756	0,8287
	1,4	0,9693	0,9205	0,9605	0,9044	0,9737	0,4897
	1,7	0,9352	0,7779	0,9550	0,9138	0,9690	0,2562
	2,0	0,8532	0,5634	0,8967	0,7569	0,9627	0,1422
<i>SIAC</i>	2,3	0,6837	0,3325	0,8213	0,6075	0,9528	0,0790
	0,3	0,9799	0,9621	0,9482	-2,3200	0,9741	-0,4291
	0,5	0,8051	0,4153	0,9660	0,9126	0,9745	0,5800
	0,8	0,1866	0,0241	0,8241	0,4834	0,9543	0,0797
	1,2	0,0634	-0,0014	0,6654	0,2131	0,8978	0,0066
<i>BMIR</i> (mm/h)	1,6	0,1332	-0,0022	0,6541	0,1581	0,8468	-0,0051
	2,0	0,2306	-0,0025	0,6387	0,1163	0,5848	-0,0080
	2,5	0,2498	-0,0027	0,6276	0,0666	0,4729	-0,0086
	3,0	0,2629	-0,0028	0,6200	0,0337	0,4822	-0,0088
	0,0	0,9486	0,7527	0,9602	0,9387	0,9760	0,9007
<i>BIVF</i>	0,5	0,9561	0,8006	0,9641	0,9479	0,9759	0,9206
	1,0	0,9622	0,8435	0,9646	0,9500	0,9759	0,9355
	1,5	0,9671	0,8804	0,9614	0,9426	0,9759	0,9460
	2,0	0,9709	0,9101	0,9500	0,9119	0,9758	0,9525
	2,5	0,9740	0,9332	0,9206	0,8171	0,9757	0,9555
<i>BURANA</i>	3,0	0,9764	0,9492	0,8554	0,5333	0,9757	0,9553
	4,0	0,9799	0,9621	0,6615	-1,3279	0,9755	0,9468
	5	0,9800	0,7042	0,6711	-15,3982	0,9796	-13,1637
	10	0,9686	0,8875	0,8492	-1,2910	0,9767	-1,0847
	15	0,8827	0,4777	0,9479	0,7626	0,9761	0,7979
<i>BIVF</i>	20	0,7703	0,2752	0,9646	0,9500	0,9754	0,9457
	30	0,5619	0,1404	0,9269	0,7872	0,9717	0,6994
	40	0,4310	0,0957	0,8558	0,6107	0,9641	0,5042
	50	0,3579	0,0748	0,7826	0,4908	0,9510	0,3813
	100	0,2349	0,0446	0,5473	0,2589	0,8162	0,1723
<i>BIVF</i>	0,4	0,9795	0,9611	0,9624	0,9437	0,9777	0,9322
	0,7	0,9795	0,9611	0,9625	0,9440	0,9777	0,9322
	1,0	0,9082	0,7630	0,9501	0,9261	0,9772	0,9442
	1,3	0,6784	0,4154	0,8621	0,7693	0,9521	0,9021
	1,6	0,5063	0,2514	0,7564	0,6014	0,9022	0,7971
<i>BIVF</i>	1,9	0,4083	0,1694	0,6724	0,4724	0,8474	0,7044
	2,2	0,3508	0,1229	0,6121	0,3790	0,8000	0,6346
	2,5	0,3139	0,0931	0,5696	0,3104	0,7603	0,5794

Inicialmente, foram escolhidos os melhores anos simulados em cada

sub-bacia de Sumé. Para cada ano escolhido, foram efetuadas simulações variando cada parâmetro dentro das faixas definidas em função das características físicas da região, portanto, nem sempre coincidentes com os valores apresentados na tabela 5.3 definidos por LIOU (1970) ou VIESSMAN et alii (1989).

Na tabela 5.8 são apresentados os resultados das simulações realizadas variando cada parâmetro individualmente, com o objetivo de observar a sensibilidade do modelo através das variações nos hidrogramas simulados e nas estatísticas do modelo.

A partir dos resultados apresentados na tabela 5.8 foram traçados gráficos plotando-se os valores das estatísticas contra os valores atribuídos para cada parâmetro do modelo em cada sub-bacia de Sumé, os quais são apresentados no anexo 3, nas figuras A3.1 a A3.18.

Estes gráficos permitiram uma melhor visualização das variações ocorridas nas estatísticas R^2 e NS em função de cada parâmetro do modelo, além de terem confirmado os valores ótimos de cada parâmetro em cada sub-bacia de Sumé.

O anexo 3 mostra alguns hidrogramas escolhidos aleatoriamente, correspondentes às simulações apresentadas na tabela 5.8, os quais serão analisadas no capítulo VI. Para as variações nos parâmetros *LZC* e *BUZC*, são apresentados os hidrogramas correspondentes à sub-bacia de Umburana, (figuras A3.19 a A3.22); *SUZC* e *SIAC* em relação a Jatobá, (figuras A3.23 a A3.26); e *BMIR* e *BIVF* em relação a Gangorra, (figuras A3.27 a A3.30). A análise desses hidrogramas permitiu também verificar as considerações apresentadas no item 5.2, relativas a cada parâmetro obtido da calibragem do modelo aplicado na bacia de Sumé.

JAMES (1982), em trabalho apresentado por HAAN et alii (1982), afirma que os erros sistemáticos que ocorrem na obtenção dos dados de entrada de modelos utilizados nas simulações podem ser absorvidos no ajuste dos parâmetros ao longo do processo de calibração, gerando resultados aparentemente bons para o período estudado. No entanto, tais parâmetros não resultarão em uma simulação satisfatória quando testados em outro período em que os erros de medição não tenham ocorrido. Como tais fatos não podem ser observados através das estatísticas utilizadas pelos modelos, JAMES (1982) recomenda o emprego de gráficos como os diagramas de dispersão entre as vazões observadas e as simuladas que, embora não mostrem a sequência do fluxo contida nos hidrogramas, ajudam a identificar os erros sistemáticos ocorridos nas medidas dos dados de entrada como também os erros

devido a própria estrutura dos modelos. Estes gráficos permitem ainda uma comparação entre as vazões simuladas e as observadas, podendo-se, inclusive, comparar separadamente vazões baixas e altas.

Foram, então, traçados os diagramas de dispersão para cada sub-bacia de Sumé, os quais são apresentados no anexo 3, nas figuras A3.31 a A3.44, e serão analisados no capítulo VI.

Finalmente, são apresentadas no anexo 4 as saídas do modelo referentes ao melhor ano simulado em cada sub-bacia de Sumé/Pb.

A análise de sensibilidade do modelo em relação aos parâmetros calibrados para as sub-bacias do Riacho do Navio não foi efetuada devido aos problemas encontrados nas mesmas, que ocasionaram valores não satisfatórios para as funções estatísticas estudadas, com hidrogramas simulados apresentando pouca coincidência com os hidrogramas observados (anexo 2).

CAPÍTULO VI

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A calibragem do modelo KWM apresentou resultados satisfatórios, R^2 acima de 0,90 e NS maior que 0,80, para quase todos os anos simulados individualmente nas três sub-bacias de Sumé, (tabela 5.4). Ao serem utilizados os valores médios dos parâmetros obtidos ano a ano, as simulações realizadas em Sumé apresentaram hidrogramas de saída bastante divergentes dos observados, e as estatísticas correspondentes apresentaram valores pouco expressivos em relação às simulações realizadas com os parâmetros calibrados ano a ano, embora R^2 tenha sido superior a 0,80 para a maior parte dos anos simulados, (tabela 5.5).

Em Riacho do Navio a calibragem do modelo apresentou resultados piores que em Sumé tanto com os parâmetros obtidos ano a ano, como com os valores médios desses parâmetros.

A sensibilidade do modelo às variações realizadas em cada parâmetro foi apresentada na tabela 5.8, nos gráficos de R^2 e NS plotados contra os parâmetros e nos hidrogramas correspondentes, (anexo 3), comprovando que o coeficiente de Nash-Sutcliffe é mais eficiente como função-objetivo do modelo que o coeficiente de correlação.

A seguir é feita uma análise do modelo KWM e, em seguida, são analisados e discutidos os resultados obtidos da aplicação do mesmo nas bacias de Sumé e do Riacho do Navio.

6.1 - ANÁLISE DO MODELO KWM

O modelo KWM, pela sua complexidade, apresenta um número elevado de parâmetros de determinação direta e parâmetros calibráveis. O uso adequado do modelo exige a disponibilidade de dados de entrada bastante precisos, principalmente dados horários de precipitação, os quais deverão ser oriundos de um ou mais postos pluviográficos localizados no interior de cada sub-bacia.

A estrutura do modelo exige a sub-divisão de cada bacia em segmentos com características homogêneas quanto ao relevo, geologia, pedologia, sistema de drenagem, vegetação, e principalmente precipitação. Esta sub-divisão não foi realizada neste trabalho devido a inexistência de outras estações de medição de vazão nas saídas de cada segmento, ou pontos de controle, existindo apenas uma estação fluviométrica na saída de cada sub-bacia estudada.

Embora o modelo KWM contenha parâmetros sazonais (*SUZC* e *SLAC*), eles não se mantiveram constantes ao longo dos anos simulados, provavelmente devido às variações rápidas que ocorrem na capacidade de infiltração d'água no solo. O solo da região semi-árida nordestina tem características bem marcantes, variando bastante sua permeabilidade e sua capacidade de infiltração ao longo do ano, (SUDENE, 1979; 1982). Nos períodos de estiagem, devido aos elevados índices de evaporação, a superfície do solo apresenta fissuras que se constituem em caminhos preferenciais para a infiltração da água proveniente das primeiras chuvas que ocorrem após estes períodos. Este fato pode ocasionar variações nos parâmetros calibrados ano a ano, gerando valores médios não representativos das bacias da região.

Mesmo no período chuvoso, a superfície do solo apresenta-se praticamente seca entre duas chuvas consecutivas. Esta situação também não é contemplada pelo modelo após o início das primeiras chuvas. Vale lembrar que esse modelo foi desenvolvido para uma região temperada, com características bem distintas do semi-árido nordestino, com uma variação bem mais suave do teor de umidade do solo ao longo do ano.

As peculiaridades da região semi-árida nordestina dificultam bastante a utilização de modelos como o KWM que distribui linearmente as precipitações horárias em intervalos de 15 minutos. As chuvas na região semi-árida nordestina são, em sua maior parte, convectivas, de grande intensidade, curta duração, e grande variação espacial. É possível a ocorrência na região de precipitação altamente localizada ou o centro da chuva se deslocar dentro da bacia, ao longo do tempo, causando precipitações localizadas em zonas diferentes em tempos diferentes. A caracterização deste tipo de fenômeno somente poderá ser adequadamente feita, quando se dispor de uma rede extensiva de pluviógrafos dentro da bacia que sejam capazes de cobrir não mais do que a zona de precipitação localizada. Infelizmente, nem as bacias representativas da região semi-árida nordestina dispõem de uma rede

de pluviógrafos tão extensiva como esta. Uma rede de apenas pluviômetros, mesmo que fosse muito extensiva, não resolveria o problema pois não há como avaliar o horário do início e término das precipitações nesses postos.

Um estudo recente realizado por LOPES (1994), mostrou que numa pequena bacia hidrográfica de área inferior a $10,0\text{Km}^2$, localizada na região semi-árida dos Estados Unidos, e provida de dez pluviógrafos, apresentou erro variando entre 20 e 100% na precipitação média, dependendo da indisponibilidade dos registros de um a cinco pluviógrafos. Considerando o fato que as bacias representativas estudadas neste trabalho dispunham de um ou menos de um pluviógrafo para cada 10Km^2 de área da bacia, é de se esperar que os dados de precipitação média sejam bastante afastados dos valores reais. Este fato certamente acarretaria grandes discrepâncias nos resultados da calibragem, pois o modelo ajustaria artificialmente os parâmetros para corresponder aos dados observados em cada ano e os mesmos não representariam, na realidade, as características da bacia em si.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que modelos complexos como o KWM, que representam praticamente todos os processos envolvidos no ciclo hidrológico, nem sempre apresentam resultados satisfatórios quando aplicados em regiões como a semi-árida nordestina, mesmo considerando a disponibilidade de dados de boa qualidade, obtidos em bacias representativas. As variações físico-climáticas espaciais que ocorrem nesta região, principalmente nas precipitações, requerem informações que melhor representem suas distribuições espaciais, para que modelos como o KWM apresentem resultados mais realísticos.

Foi utilizado neste estudo, um único posto pluviográfico para cada bacia, esta considerada ainda como homogênea quanto aos processos hidrológicos que nela ocorrem (SUDENE, 1979; 1982). Possivelmente, devido a este fato associado à grande variação espacial das características físico-climáticas, os dados de entrada referentes a cada ano hidrológico ocasionaram grandes discrepâncias na fase de calibragem do modelo, obtendo-se parâmetros que representam simplesmente os eventos ocorridos naquele ano, não sendo, portanto, característicos da bacia.

São citadas na literatura várias aplicações dos modelos SWM-IV e KWM em diversas regiões do mundo, inclusive algumas em regiões semi-áridas, apresentadas sempre com resultados satisfatórios. Por exemplo, EGBUNIWE e

TODD (1976), aplicaram o modelo SWM-IV nas bacias de Kantagora e Malendo, localizadas na região semi-árida da Nigéria, onde relataram problemas relativos aos dados de precipitação e às características físicas das bacias semelhantes aos que se apresentaram no presente trabalho. Foram simulados cinco anos hidrológicos (1968-1973), sendo que o primeiro ano simulado não foi considerado na análise dos resultados, justificado pelos autores devido ao teor de umidade do solo só ter alcançado condições estáveis a partir do segundo ano.

Um outro fato relatado por EGBUNIWE e TODD (1976), é que foram observados alguns meses com grandes discrepâncias entre as vazões registradas e as simuladas, muito embora o coeficiente de correlação entre estas vazões mensais tenha alcançado o valor de 0,91. Os autores explicam este fato afirmando que ocorreram apenas 12 vazões mensais elevadas ao longo dos quatro anos considerados, para as quais o coeficiente foi de 0,84. As demais vazões, consideradas baixas, estão melhor correlacionadas.

EGBUNIWE e TODD (1976) não apresentaram qualquer consideração a nível diário como também não mostraram os valores dos parâmetros determinados para cada ano calibrado individualmente. O uso do coeficiente de correlação entre as vazões mensais observadas e calculadas, e não entre as vazões diárias é, provavelmente, responsável pelos altos valores obtidos naquele trabalho.

Finalmente, os hidrogramas apresentados mostram discrepâncias consideráveis nas vazões de pico simuladas e observadas, causadas, segundo os autores, provavelmente pela não representatividade das chuvas horárias obtidas na estação pluviográfica, quando diferentes pontos da bacia apresentam simultaneamente diferentes intensidades de precipitação. A maioria das precipitações naquela região é do mesmo tipo das que ocorrem na região semi-árida nordestina, ou seja, convectivas.

Os erros gerados pelos dados não representativos de precipitação podem ser observados no presente trabalho, através dos valores dos parâmetros apresentados nas tabelas 5.4 e 5.6, para as bacias de Sumé e do Riacho do Navio, respectivamente. Em Sumé praticamente todos os anos simulados apresentaram resultados satisfatórios após os ajustes executados nas precipitações horárias com base nos hietogramas relativos às cheias ocorridas. Pode-se ver que nas sub-bacias do Riacho do Navio, onde não foram feitas estas correções, os resultados não foram satisfatórios.

6.2 - ANÁLISE DOS RESULTADOS NA BACIA DE SUMÉ

Para a sub-bacia Umburana, apenas o ano hidrológico 77/78 não apresentou resultados satisfatórios, (tabela 5.4). Isto ocorreu devido provavelmente a não correspondência entre os dados registrados no pluviógrafo e a pluviometria média da sub-bacia. Umburana apresenta, neste ano, precipitação média diária muito elevada, principalmente no mês de março, a qual foi utilizada pelo modelo para corrigir as precipitações horárias, causando a simulação de vazões relativamente altas naquele mês. Este ano hidrológico apresentou o maior total pluviométrico nesta sub-bacia, 961,4mm, e também o maior número de cheias do período, das quais só se dispõe dos hietogramas correspondentes a duas delas (SUDENE, 1982), o que impossibilitou um melhor ajuste das chuvas horárias referentes às cheias.

Os demais anos hidrológicos apresentaram valores próximos para todos os parâmetros, e com as seguintes características: *LZC* baixo, correspondendo a solo com pouca capacidade de armazenamento na zona inferior; *SUZC* baixo, caracterizando a vegetação da região, pouco expressiva mesmo durante os meses de inverno; *SIAC* elevado, provavelmente em consequência dos altos índices de evaporação da região, que mantém o solo praticamente seco nos meses quentes ou mesmo entre duas chuvas consecutivas, proporcionando infiltração mais rápida nesses períodos. *BUZC* com valor médio em torno de 1,0; *BMIR* mínimo, indicando pouca capacidade de infiltração d'água no solo; e *BIVF* baixo, indicando que toda água que não infiltra no solo é quase totalmente convertida em escoamento superficial direto.

A sub-bacia Jatobá apresentou também baixos valores de *LZC* e *SUZC*. Os demais parâmetros variaram bastante de ano para ano, provavelmente em consequência da não representatividade dos dados de entrada do modelo.

Gangorra, que corresponde a bacia total de Sumé, com uma área de 137,4Km², também apresentou valores baixos para o parâmetro *SUZC*. *LZC* variou de 239 a 320mm. Observou-se também nesta sub-bacia para o ano hidrológico 76/77, o mais úmido do período estudado com uma descarga média anual de 298,9ℓ/s, os maiores valores dos parâmetros *LZC* e *BMIR*, e os menores valores para *BUZC* e *SIAC*.

Os baixos valores de R^2 e NS obtidos em Gangorra no ano hidrológico 79/80, cujo hidrograma observado é constituído de apenas dois picos de vazões,

podem ser justificados por não haver correspondência nos registros do pluviógrafo com a pluviometria média da bacia entre os dias 06 e 09 de abril de 1980, período em que ocorreu o segundo pico no hidrograma observado.

Devido à não existência de dados registrados no pluviógrafo que justifiquem este segundo pico no hidrograma observado, foi criado um outro arquivo de dados de entrada para esse ano hidrológico onde foram omitidas as vazões registradas no período entre 06 e 09 de abril. Para a simulação, foi considerado o mesmo conjunto de parâmetros, resultando nos valores de R^2 e NS , iguais a 0,8915 e 0,8162 respectivamente.

São apresentados nas figuras 6.1 a 6.4 os gráficos correspondentes a estas simulações, que mostram lâminas mensais e vazões diárias simuladas com os dados originais e com as alterações nos dados de entrada, obtendo-se consequentemente, valores simulados próximos dos observados.

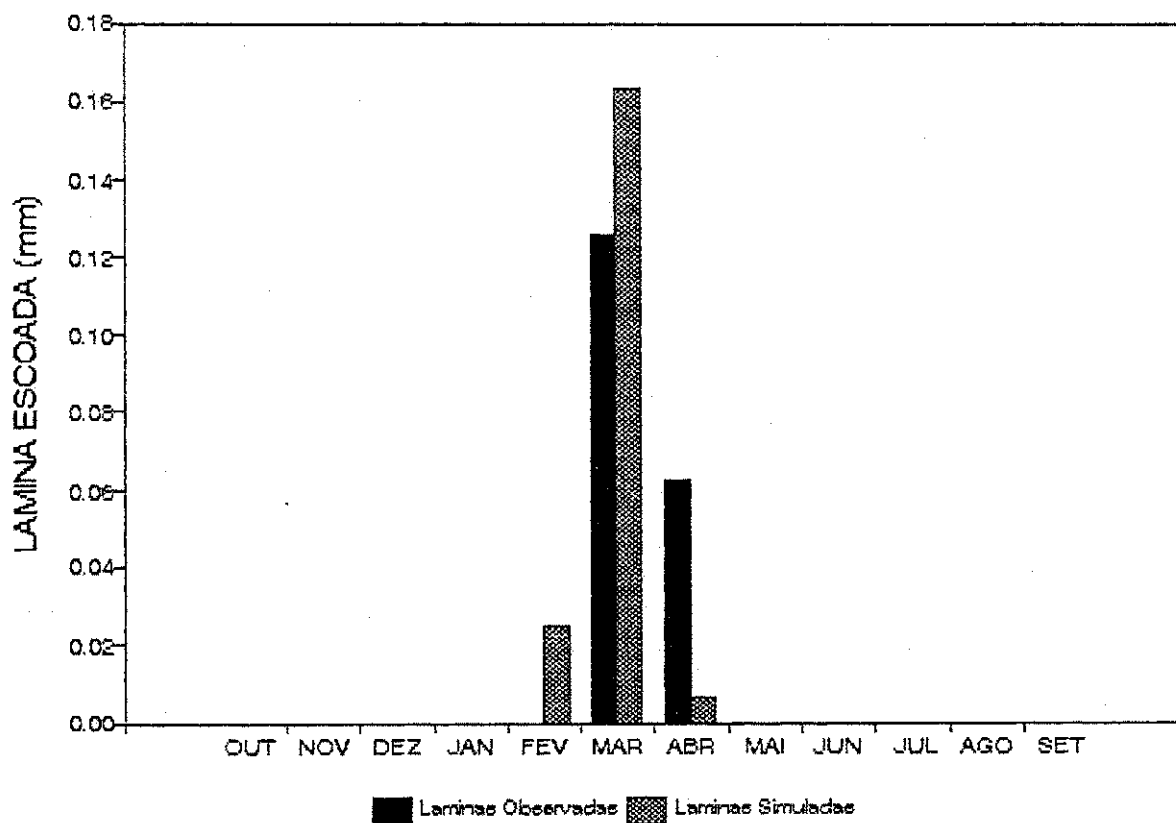


Figura 6.1 - Histograma de lâminas mensais escoadas
Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados originais.

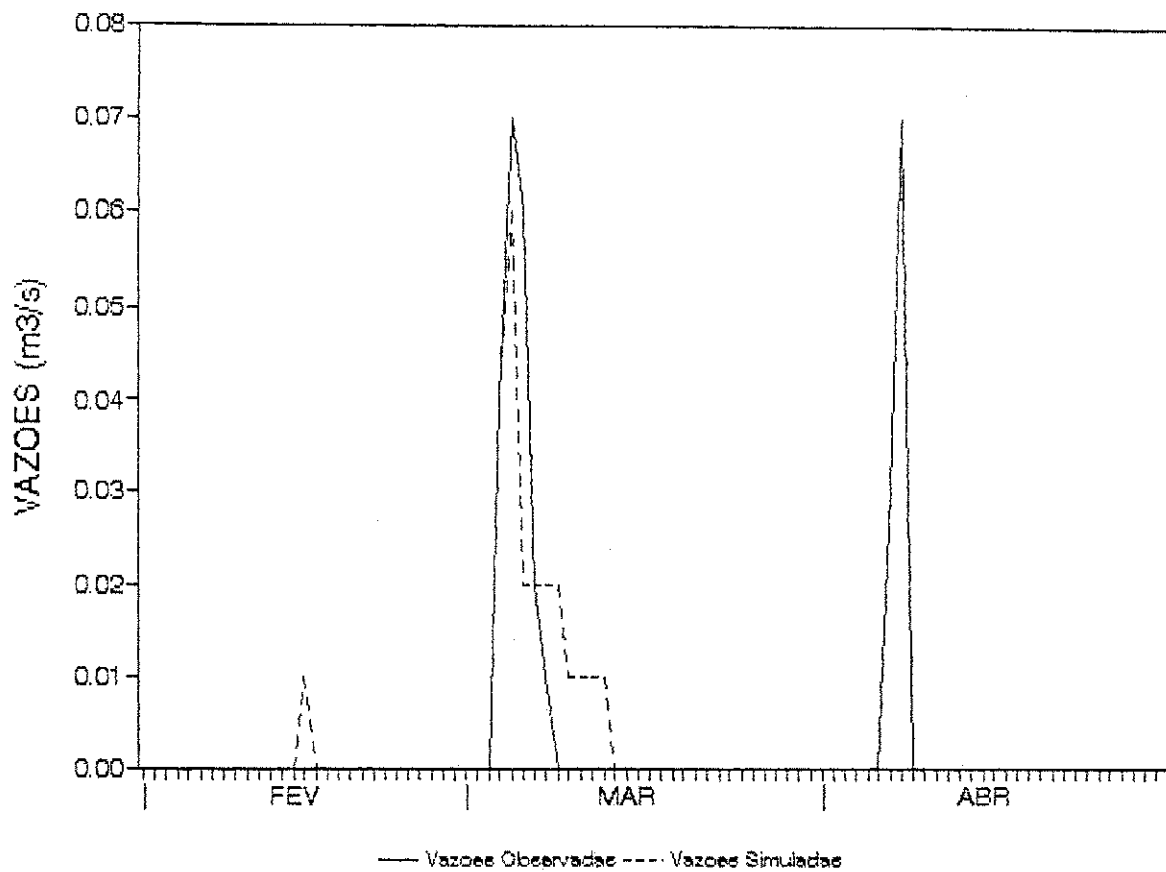


Figura 6.2 - Hidrogramas diários observado e simulado
Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados originais.

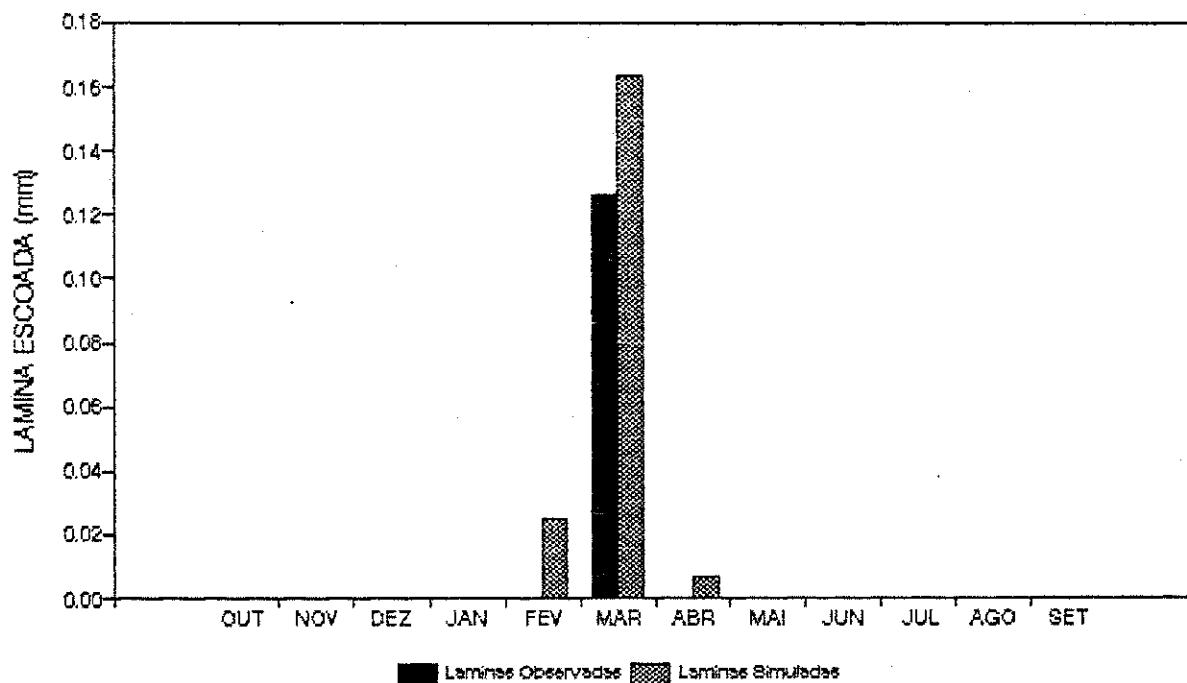


Figura 6.3 - Histograma de lâminas mensais escoadas
Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados ajustados.

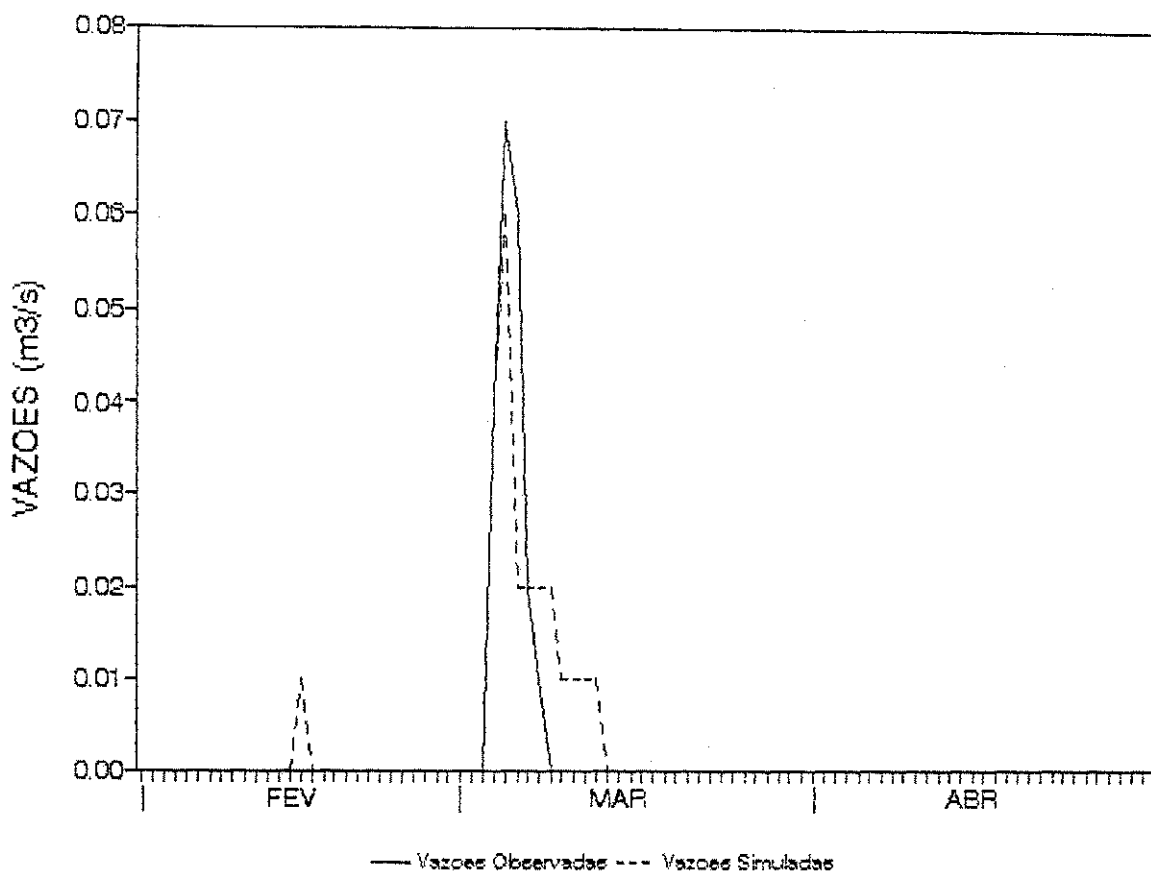


Figura 6.4 - Hidrogramas diários observado e simulado
Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80 - Dados ajustados.

Observou-se ainda que, para todas as sub-bacias de Sumé, os hidrogramas simulados se apresentaram mais próximos dos observados quando o coeficiente de Nash-Sutcliffe foi superior a 0,90. Por outro lado, o coeficiente de correlação não se mostrou adequado como função-objetivo do modelo, visto que grandes variações em cada um dos parâmetros pouco influenciaram nos correspondentes valores desse coeficiente.

A análise de sensibilidade do modelo mostrou que, em todas as sub-bacias de Sumé, as estatísticas praticamente não variaram para *BIVF* inferior a 0,70. As variações efetuadas no parâmetro *LZC* praticamente não alteraram os valores de R^2 nas três sub-bacias de Sumé, (tabela 5.8).

Os resultados apresentados na tabela 5.8 e os respectivos gráficos (anexo 3), mostram claramente que os indicadores ótimos calculados nas simulações nem sempre apresentaram condições semelhantes, observando-se que os valores ótimos do coeficiente de correlação nem sempre corresponderam ao valor ótimo do coeficiente de Nash-Sutcliffe, e vice-versa.

Os diagramas de dispersão traçados para as três sub-bacias de Sumé

(anexo 3), mostram que a região é caracterizada pela ocorrência de baixas vazões durante o ano, sendo que as vazões de pico, uma ou duas no máximo, são bastante elevadas em relação à média anual.

Estes diagramas indicam ainda que às baixas vazões simuladas geralmente correspondem vazões observadas nulas. Este fato pode ter sido causado pela presença de um número elevado de açudes distribuídos ao longo da bacia de Sumé. Convém observar que o modelo KWM considera informações sobre vazões de desvio, relativas a estes reservatórios de superfície. Entretanto, por não se dispor dos dados diários relativos a estes reservatórios, não foi possível obter simulações que levassem em conta a retenção das vazões.

A inexistência desses dados provavelmente ocasionou também erros nas simulações realizadas, com parâmetros calibrados sem levar em conta o efeito do desvio de vazões. Tal fato também deve ter provocado as discrepâncias nos valores dos parâmetros determinados ano a ano para cada sub-bacia, obtendo-se conseqüentemente, valores médios talvez não muito representativos das bacias estudadas.

O ano hidrológico 77/78 se apresentou como o mais úmido em Umburana e Jatobá, observando-se também que as estatísticas calculadas para este ano, nas três sub-bacias, não apresentaram resultados satisfatórios.

Por outro lado, o ano hidrológico 79/80 foi o mais seco do período observado, não tendo ocorrido escoamento em Umburana, e Gangorra apresentando uma vazão máxima de 70ℓ/s. Neste ano, as chuvas apresentaram as maiores intensidades em Jatobá, tendo ocorrido apenas três dias com chuvas marcantes nos quais ocorreu 56% de todo o volume anual escoado (SUDENE, 1982). Devido à consistência entre os dados de precipitação e vazão, Jatobá apresentou os melhores valores dos indicadores de qualidade de simulação desse ano hidrológico.

6.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS NA BACIA DO RIACHO DO NAVIO

Os problemas apresentados nas sub-bacias do Riacho do Navio causaram grandes variações entre os valores dos parâmetros obtidos para cada ano simulado (tabela 5.6), resultando em valores médios talvez pouco representativos para as três sub-bacias, (tabela 5.7).

Com o objetivo de verificar os erros causados pela falta de

informações relativas às cheias na bacia do Riacho do Navio, foi selecionado o temporal ocorrido em Salobro no dia 17 de julho de 1975. Este dia apresentou pluviometria média de 101,2mm e descarga média de 2,55m³/s (SUDENE, 1979). Correspondendo a esta cheia, o pluviógrafo em Conceição registrou 65,1mm entre 14:00 e 22:00 horas do dia anterior e a maior concentração das chuvas ocorreu entre 17:00 e 19:00 horas.

Essa sub-bacia, com área de apenas 15,6 Km² e tempo de concentração de 66 minutos (tabela 4.2), provavelmente apresentou escoamento relativo a esta precipitação ainda no dia 16 e não no dia seguinte. Então, foi criado um novo arquivo de dados de entrada antecipando as vazões registradas no mês de julho/75 a partir do dia 17, por um dia. Para aplicação do modelo em Salobro no ano 74/75, foram considerados os valores médios dos parâmetros apresentados na tabela 5.7. Como resultado foram obtidos para as estatísticas os valores: $R^2 = 0,9187$ e $NS = 0,8662$.

Para uma melhor comparação, são apresentados os histogramas de lâminas mensais e os hidrogramas diários correspondentes às simulações efetuadas com os dados originais (figuras 6.5 e 6.6), e com os dados de vazão antecipados (figuras 6.7 e 6.8). Conseguiu-se, neste caso, valores simulados bem próximos dos respectivos valores observados.

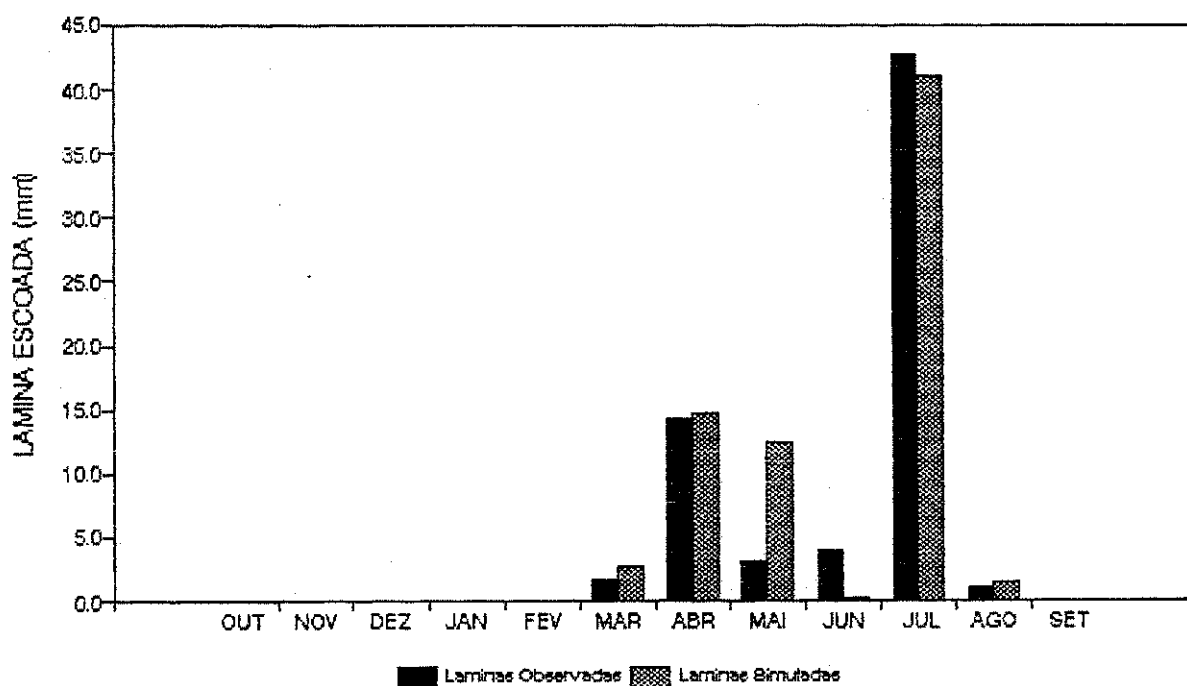


Figura 6.5 - Histograma de lâminas mensais escoadas
Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados originais.

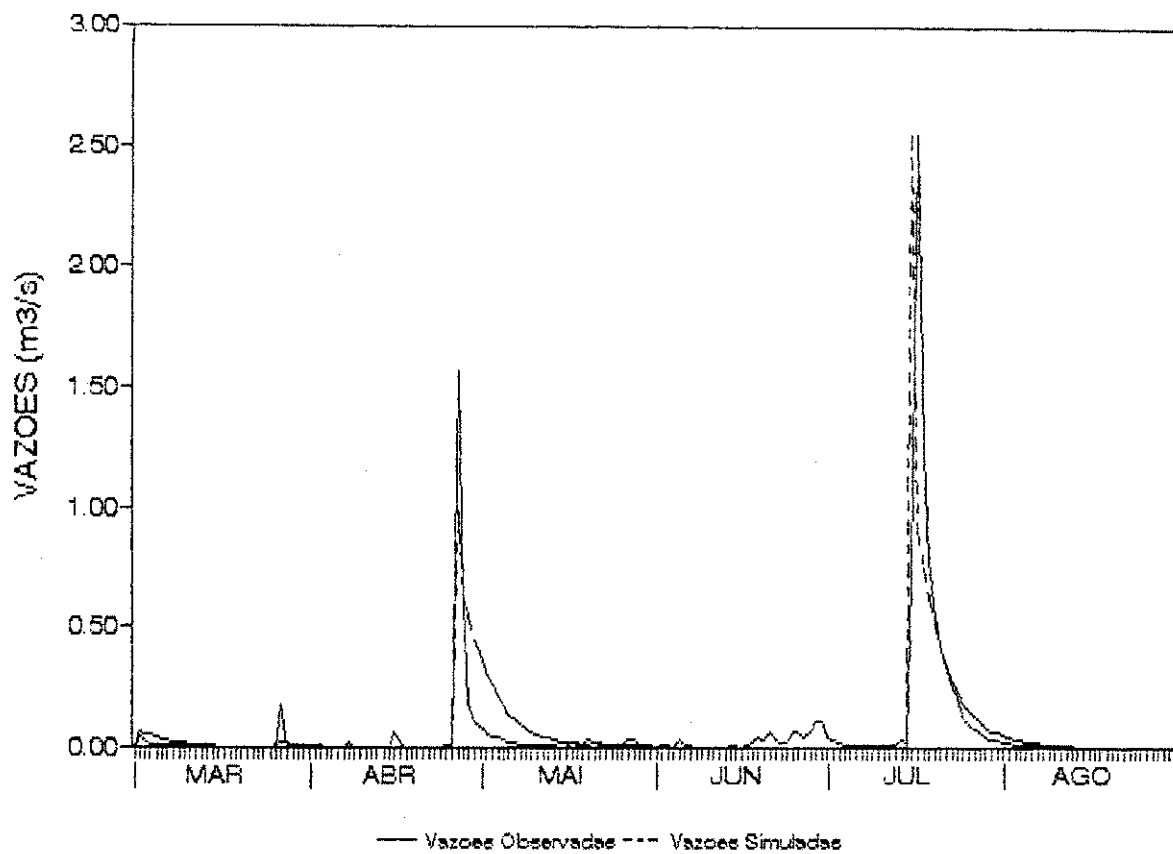


Figura 6.6 - Hidrogramas diários observado e simulado
Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados originais.

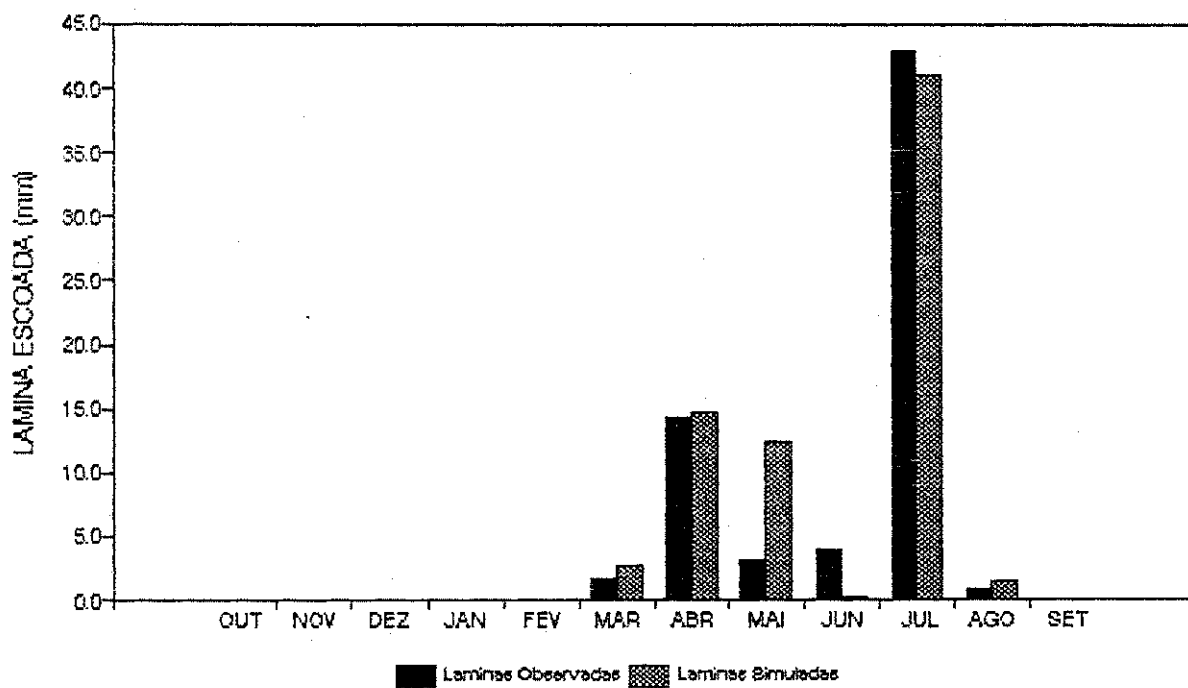


Figura 6.7 - Histograma de lâminas mensais escoadas
Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados ajustados.

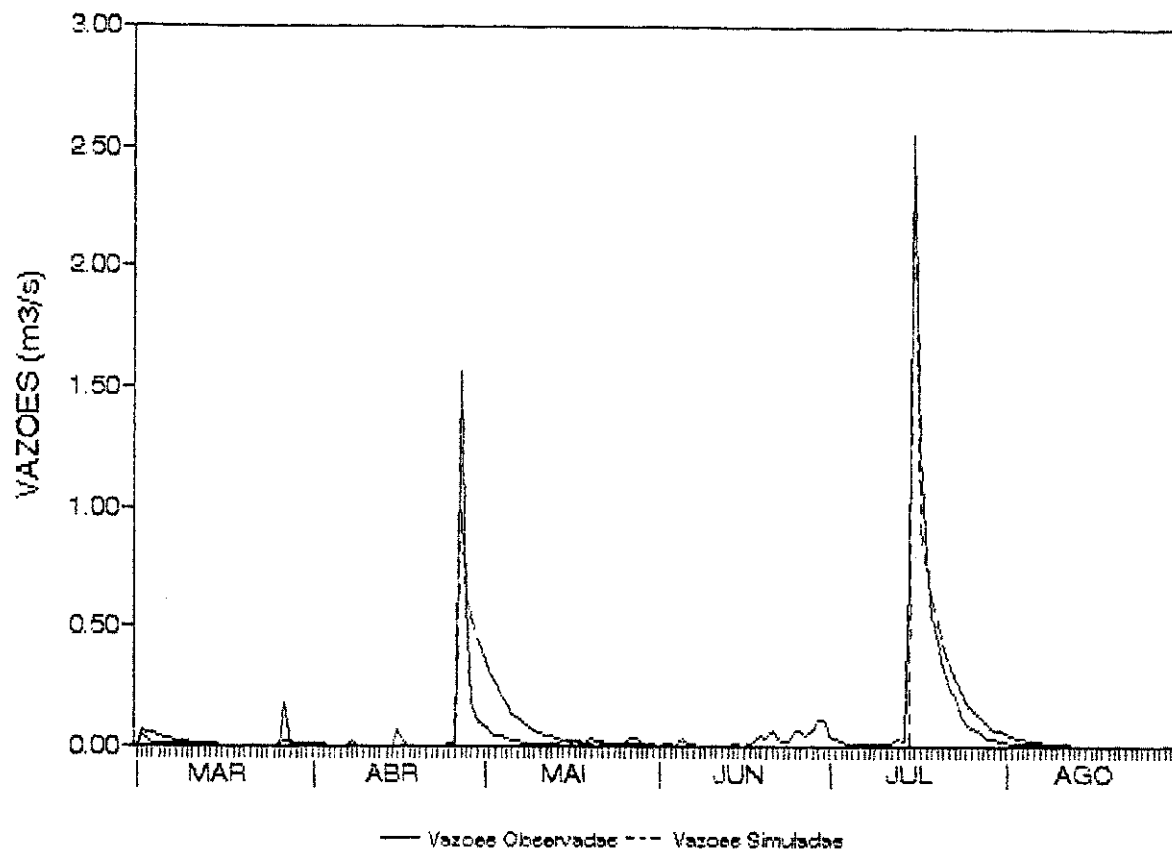


Figura 6.8 - Hidrogramas diários observado e simulado
Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75 - Dados ajustados.

Pelo exposto, pode-se concluir que melhores resultados seriam obtidos em Riacho do Navio, caso se dispusesse dos hietogramas relativos às cheias ocorridas na bacia. Por outro lado, é muito provável que os valores médios apresentados na tabela 5.7 não sejam os parâmetros do modelo com o melhor ajuste para as sub-bacias do Riacho do Navio, visto que as simulações realizadas absorveram os erros sistemáticos causados pela não representatividade das chuvas horárias utilizadas na calibragem do modelo.

Observa-se, pela tabela 5.6, que a sub-bacia Salobro apresentou grande variação nos valores calibrados dos parâmetros *LZC*, *BUZC* e *SIAC*. *SUZC* manteve-se baixo, caracterizando a vegetação da região, enquanto *BMIR* e *BIVF* tenderam aos seus valores máximos, indicando solo de boa permeabilidade e escoamento superficial direto resultante da água que não infiltra no solo praticamente nulo, respectivamente. O ano hidrológico 76/77 apresentou *LZC* e *SUZC* mínimos, enquanto *SIAC*, *BMIR* e *BIVF* foram máximos. Os valores discrepantes apresentados neste ano podem estar associados à não representatividade das chuvas registradas no pluviógrafo.

Na sub-bacia Oscar Barros, com exceção do parâmetro *SUZC*, que variou apenas de 0,63 a 0,66 em três dos quatro anos simulados, não se encontrou qualquer uniformidade nos demais parâmetros.

A sub-bacia Matriz apresentou maior uniformidade em todos os parâmetros calibrados, exceto *BUZC*. *LZC* apresentou valores baixos, característico do solo litólico predominante nesta bacia; *SUZC* também manteve-se baixo, correspondendo à vegetação de caatinga; *SLAC* manteve-se no mínimo nos quatro anos simulados, não correspondendo aos elevados índices de evaporação da região; *BMIR*, cujo valor está diretamente associado com a capacidade de infiltração d'água no solo, alcançou o valor máximo apenas no ano 74/75, sendo menor e constante para os demais anos hidrológicos; finalmente, o parâmetro *BIVF* apresentou variação apenas no ano 76/77, mantendo seu valor em torno da média nos demais anos.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, analisados e discutidos no capítulo VI, pode-se concluir que:

- 1) O modelo KWM, na sua forma original, não apresentou resultados satisfatórios na região semi-árida nordestina, devido principalmente a não representatividade das precipitações horárias em relação às bacias estudadas. As chuvas convectivas, características dessa região, dificultam a aplicação de modelos como o KWM. Outro possível motivo está relacionado com os parâmetros e variáveis utilizados pelo KWM para representar os efeitos causados pela sazonalidade, cujas equações envolvidas foram elaboradas para uma região com características de solo e clima mais uniformes do que no semi-árido nordestino
- 2) A utilização de condições médias para as características físico-climáticas apresentou ótimos resultados nas sub-bacias de Sumé, para cada ano simulado individualmente, após os necessários ajustes feitos nas precipitações horárias. No entanto, como as variações espaciais destas características não foram representadas pelos dados de entrada, os parâmetros assim obtidos, embora apresentem resultados satisfatórios no ano hidrológico para o qual foram calibrados, não podem ser considerados como representativos da bacia.
- 3) Os hidrogramas de saída simulados se aproximaram melhor dos observados quando o coeficiente de Nash-Sutcliffe foi superior a 0,90. Por outro lado, o coeficiente de correlação não se mostrou confiável como função-objetivo do modelo, visto que grandes variações em cada um dos parâmetros pouco influenciou nos valores desse coeficiente.
- 4) A aplicação de modelos complexos como o KWM em pequenas bacias do semi-árido nordestino só apresentaria uma caracterização precisa dos parâmetros, se se dispusesse de dados horários de precipitação obtidos em um número suficiente de

postos pluviográficos que representassem a variação espacial das chuvas e de dados de vazões de saída em cada possível segmento da bacia com características homogêneas de solo, geologia, vegetação e precipitação.

7.2 - RECOMENDAÇÕES

Considerando que, em termos de Nordeste, a implantação de redes pluviográfica e fluviográfica nos padrões exigidos pelo modelo, é praticamente inviável, recomenda-se um estudo mais detalhado de rotinas de cálculo de ajuste das precipitações horárias dos postos pluviográficos disponíveis na região, em função das precipitações medidas nos postos pluviométricos das bacias estudadas. Aconselha-se ainda, testar diferentes funções de distribuição das precipitações nos intervalos de 15 minutos, visto que o modelo objeto deste trabalho utiliza uma distribuição linear, quando é previsível que, para a maioria das cheias ocorridas nas bacias estudadas com duração de poucas horas, a distribuição das chuvas não seja linear.

Considerando os resultados apresentados pelo modelo, quando aplicado para a bacia de Sumé/Pb, associando-os com as características físicas da bacia e, considerando as respectivas faixas de variação propostas por Crawford e Linsley (1966), o presente trabalho indica, como possíveis valores para os parâmetros calibráveis do modelo: *BUZC* com valores médios, em torno de 1,0; *SUZC* com valores baixos, próximo do mínimo; *LZC* também com valores abaixo das estimativas iniciais propostas pela equação 4; *SLAC* e *BMIR* não apresentaram qualquer uniformidade, observando-se apenas que *SLAC* tende para o máximo quando *SUZC*, *LZC* e *BMIR* tendem para os respectivos valores mínimos; e *BIVF* variou um pouco abaixo da média.

Considerando a pouca espessura dos solos característicos da região estudada, baixos valores de *LZC* são indicativos da pouca capacidade de armazenamento d'água na zona inferior do solo.

A vegetação de caatinga, característica da região, provavelmente é a principal responsável pelos baixos valores indicados pelo parâmetro *SUZC*, face a pouca capacidade da superfície da bacia de reter umidade devido a vegetação.

BUZC relaciona a capacidade da superfície do solo de reter água com o armazenamento devido a interceptação e depressões, devendo-se sempre considerar

o relevo da bacia nas estimativas desse parâmetro.

SLAC e *BMIR* estão associados com as taxas de infiltração, sendo que o primeiro as relaciona com a evaporação antecedente ocasionando o ajuste sazonal da infiltração, enquanto o segundo controla a taxa de infiltração de água da superfície da bacia para o solo. Seus valores estão associados com a quantidade de água disponível na superfície do solo, sendo, portanto, de difícil estimativa inicial.

Finalmente, o parâmetro *BIVF* controla a quantidade de água que não infiltra no solo, dividindo-a entre escoamento superficial e sub-superficial. Baixos valores para *BIVF* devem ser utilizados em bacias que apresentem curto tempo de retardamento.

As recomendações apresentadas para os parâmetros calibráveis do modelo KWM, podem servir de base para uma estimativa inicial desses parâmetros para pequenas bacias do semi-árido nordestino com características semelhantes. Portanto, recomenda-se finalmente, tal estudo nas demais bacias representativas do Nordeste, para fins de verificação da associação dos parâmetros com as características físicas dessas bacias, observando-se contudo, a possibilidade de aplicação do KWM em função da disponibilidade dos dados na forma requerida pelo modelo.

**REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, SUDENE. Bacia Representativa do Riacho do Navio (relatório final). Série hidrologia N^o 6. Recife: 1979.
- BRASIL, SUDENE. Bacia Representativa de Sumé (primeira estimativa dos recursos d'água. Série hidrologia N^o 14. Recife: 1982.
- CADIER, E., LANNA, A.E., MENEZES, M. e CAMPELLO, M.S. Avaliação dos estudos referentes aos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste brasileiro. VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, vol 2. Salvador: 1987.
- CALVER, A. Calibration, sensitivity and validation of a physically-based rainfall-runoff model. Journal of Hydrology, 1988.
- CHOW, VEN TE Handbook of applied hydrology. New York: McGraw Hill, 1964.
- CLABORN, B.J. e MOORE, W.L. Numerical simulation of watershed hydrology. Austin: University of Texas, Department of Civil Engineering, Tech. Rep. HYD 14-7001, 1970.
- CONEJO, J.G.L. Simulação de sistemas de recursos hídricos. Curso de Engenharia Hidrológica. São Paulo: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983.
- CRAWFORD, N.H. e LINSLEY, R.K. Digital simulation in hidrology: Stanford Watershed Model IV. Califórnia: University of Stanford, Department of Civil Engineering. Tech. Rep. N^o 39, 1966.
- CRAWFORD, N.H. Studies in the application of digital simulation to urban hydrology. HYDROCOMP International Inc., Palo Alto, Califórnia, 1971.

- EGBUNIWE, N. e TODD, D.K. Application of the Stanford Watershed Model to Nigerian watersheds. Water Resources Bull. vol 12, Nº 3, American Water Resources Association, 1976.
- FILL, H.D. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.
- FLEMING, G. Computer simulation techniques in hydrology. New York: American Elsevier Pub. Co. Inc., 1975.
- HAAN, C.T., JOHNSON, H.P. e BRAKENSIEK, D.L. Hydrologic modeling of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers, ASAE Monograph Nº 5, New York: 1982.
- HOLTAN, H.N. e LOPEZ, N.C. USDAHL-73 Revised model of watershed hydrology. U.S. Department of Agriculture, Plant Physiology Institute, Report Nº 1, 1973.
- IBBITT, R.P. e O'DONNELL, T. Fitting methods for conceptual catchment models. Journal of Hydraulics Division, ASCE, 1971.
- JAMES, L.D. An evaluation of relationship between patterns and watershed characteristics through the use of OPSET. Research Report Nº 36, Water Resources Institute. Lexington: University of Kentucky, 1970.
- LIU, E.Y.S. OPSET-Program for computerized selection of watershed parameter values for the Stanford Watershed Model. Research Report Nº 34, Water Resources Institute. Lexington: University of Kentucky, 1970.
- LOPES, V.L. Estudo da influência do número de pluviógrafos na avaliação da precipitação média de uma pequena bacia no Estado de Arizona/USA. Comunicação pessoal - Universidade de Arizona / EEUU, 1994.
- MACHADO, D. e O'DONNELL, T. A sensitivity analysis of conceptual catchment model parameters. 1st International Conference of Applied Numerical Modelling. London: Southampton University, 1977.

- MAGETTE, W.L., SHANHOLTZ, V.O. e CARR, J.C. Estimating selected parameters for the Kentucky Watershed Model from watershed characteristics. Water Resources Research, Virginia, 1976.
- MARTINEC, J. e RANGO, A. Merits of statistical criteria for the performance of hydrological models. Water Resources Bulletin, American Water Resources Association, 1989.
- MCCUEN, R.H. The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling. Journal of Hydrology, 1973.
- MEIN, R.G. e BROWN, B.M. Sensitivity of optimized parameters in watershed models. Water Resources Research, 1978.
- MILLER, C.F. Evaluation of runoff coefficients from small natural drainage areas. Research Report N^o 14, Water Resources Institute. Lexington: University of Kentucky, 1970.
- MONRO, J.C. e ANDERSON, R.L. National Weather Service River Forecast System Forecast Procedures. National Weathervice Office of Hydrology, Technical Memo: NWS HYDRO- 14, 1972.
- PORTO, R.L.L. Hidrologia dinâmica. Curso de Engenharia Hidrológica. São Paulo: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983.
- RICCA, V.T. Ohio State University version of the Stanford Streamflow Simulation Model. Department of Civil Engineering, Ohio State University. Columbus, Ohio: 1972.
- ROSS, G.A. The Stanford Watershed Model: the correlation of parameter values selected by a computerized procedure with measurable physical characteristics of the watershed. Research Report N^o 35, Water Resources Institute. Lexington: University of Kentucky, 1970.
- SITTNER, W.T., SCHAUSS, C.E. e MONRO, J.C. Continuous hydrograph synthesis with an API - type hydrologic model. Water Resources Institute, 1969.

- TINGSANCHALI, T., TONGPUMNUK, S. e SRIKANTHAN, R. Application of SSARR. Stanford and Sacramento watershed models in Northeast Thailand. Computational Mechanics Publications, Hydrosoft, 1990.
- TUCCI, C.E.M. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo: Nobel /ABRH, 1987.
- U.S. ARMY ENGINEERS Division Program description and users' Manual for Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation (SSARR) Model. North Pacific Division, Portland, Oregon, 1972.
- VISSMAN, W.JR., LEWIS, G.L. e KNAPP, J.W. Introduction to hydrology. New York: Harper & Row Publishers Inc., 1989.

ANEXO 1

SIMULAÇÃO NA BACIA DE SUMÉ/PB

1. Simulação com os parâmetros estimados ano a ano:

.Histogramas de lâminas médias escoadas e hidrogramas diários
observados e simulados..... Figuras A1.1 a A1.28

2. Simulação com os valores médios dos parâmetros:

.Histogramas de lâminas médias escoadas e hidrogramas diários
observados e simulados..... Figuras A1.29 a A1.56

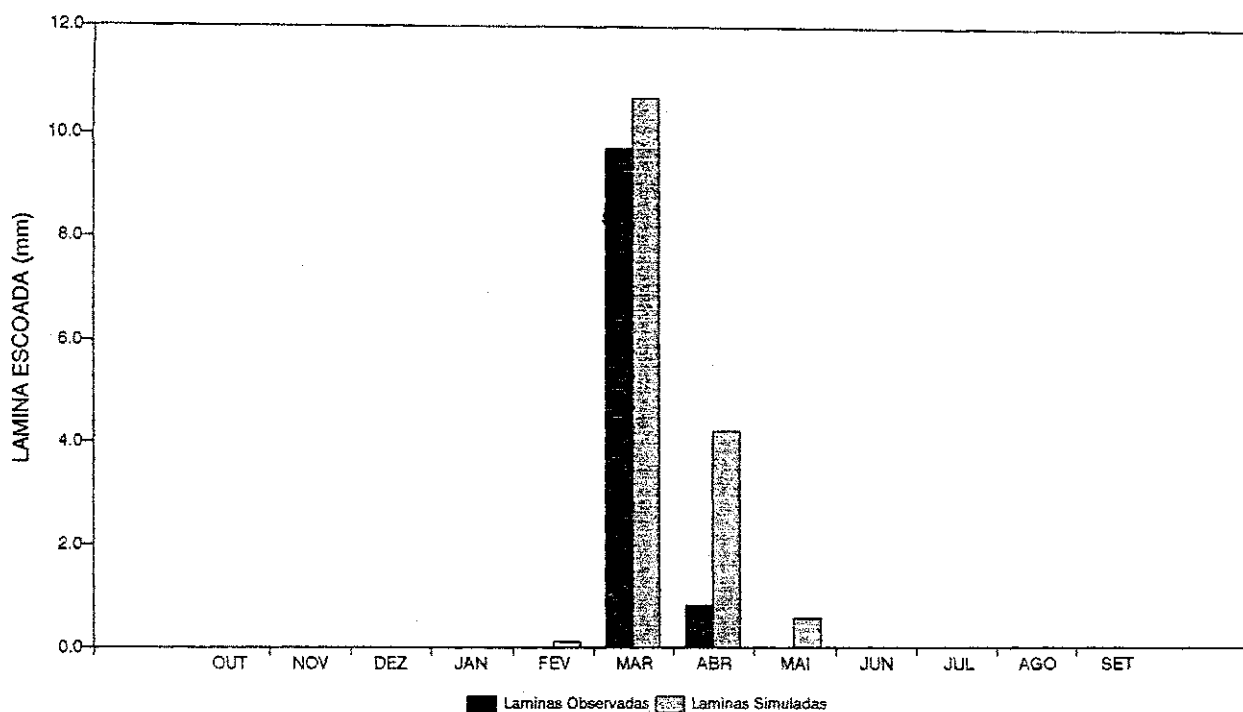


Figura A1.1 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

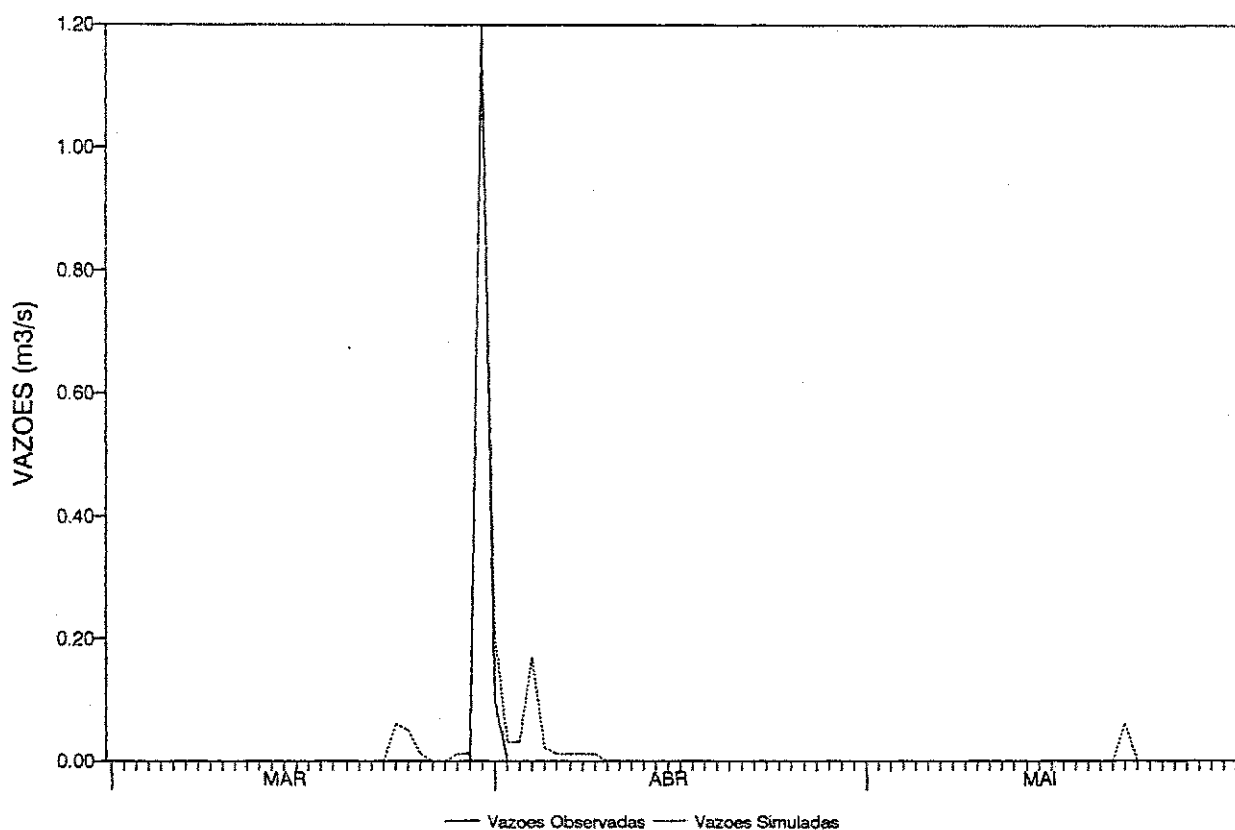


Figura A1.2 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

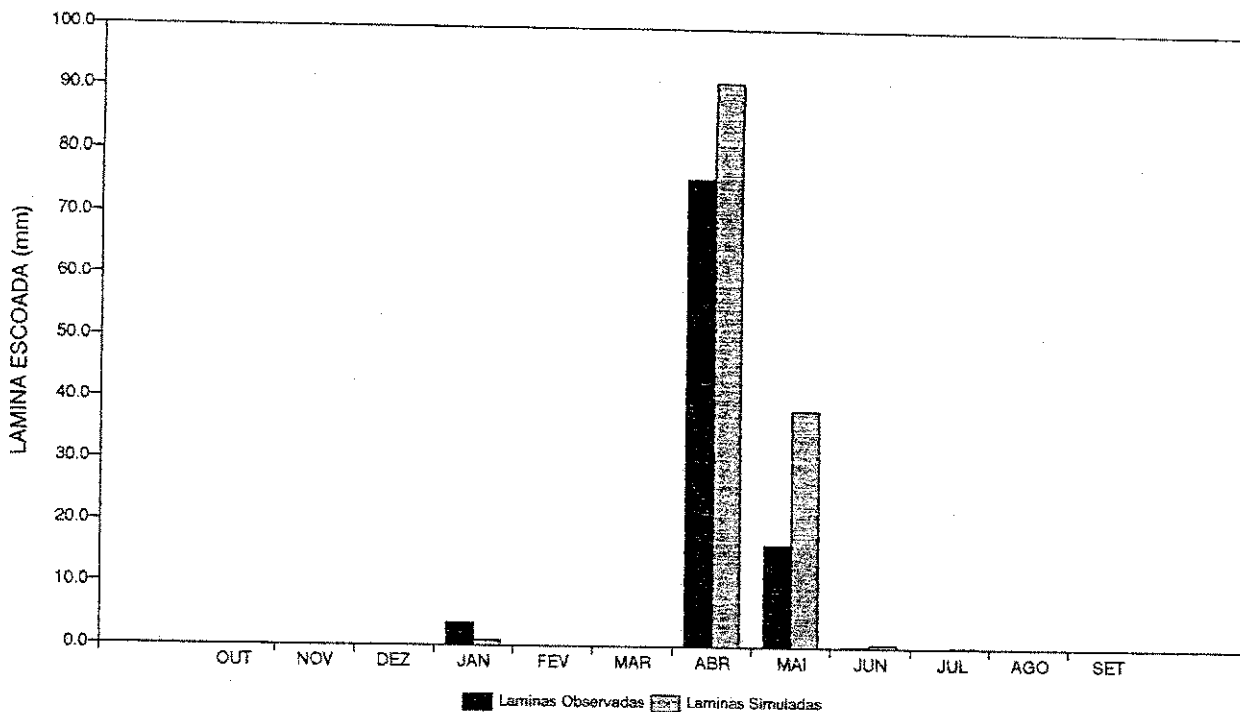


Figura A1.3 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 76/77

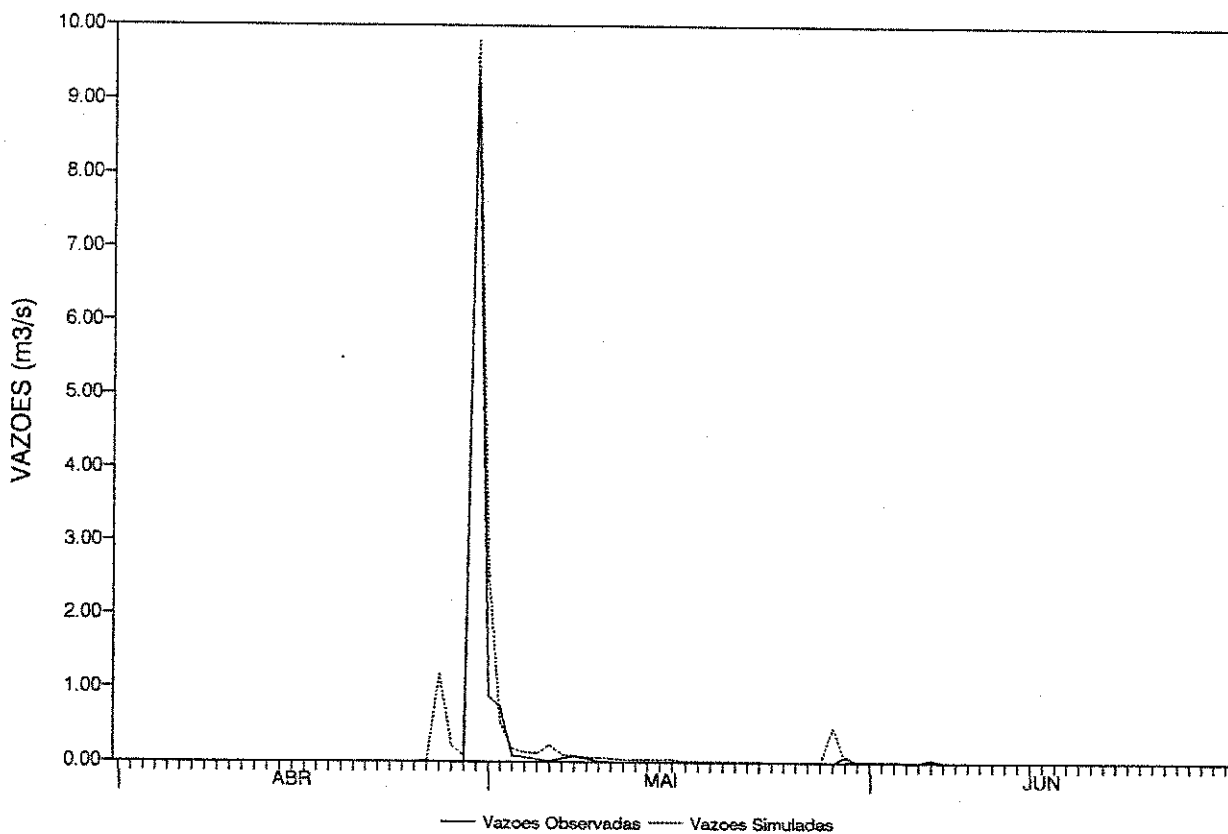


Figura A1.4 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 76/77

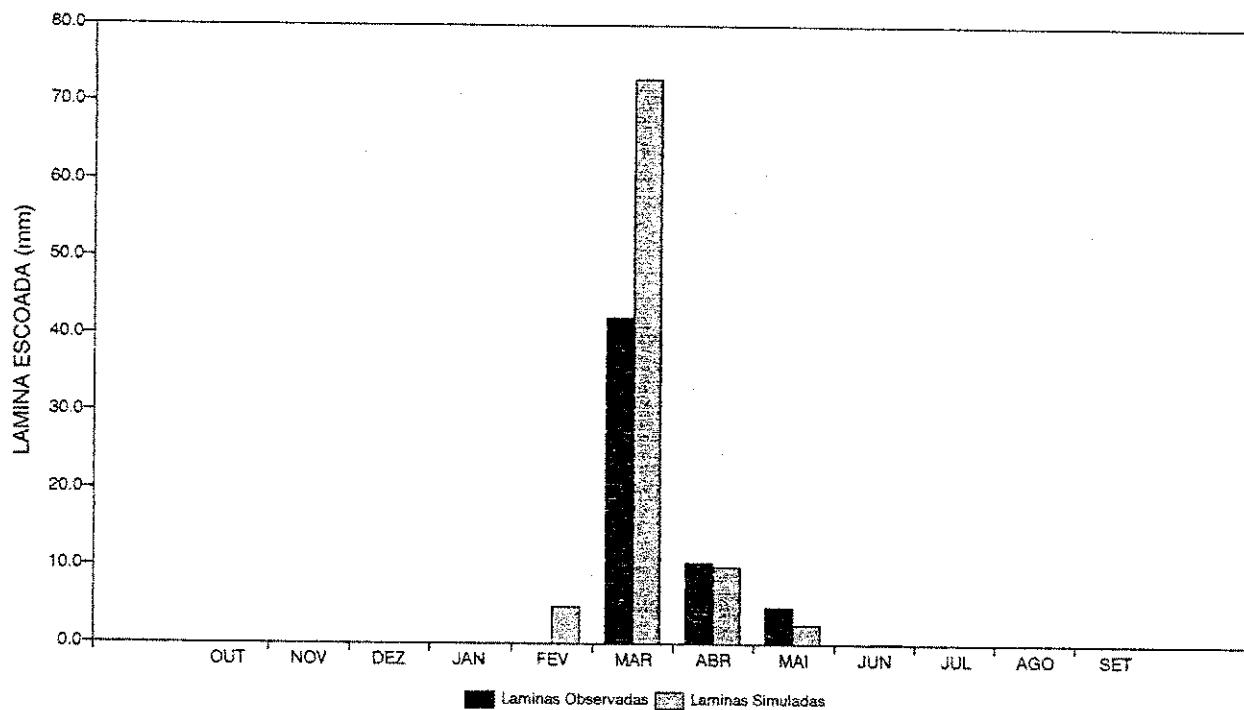


Figura A1.5 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 77/78

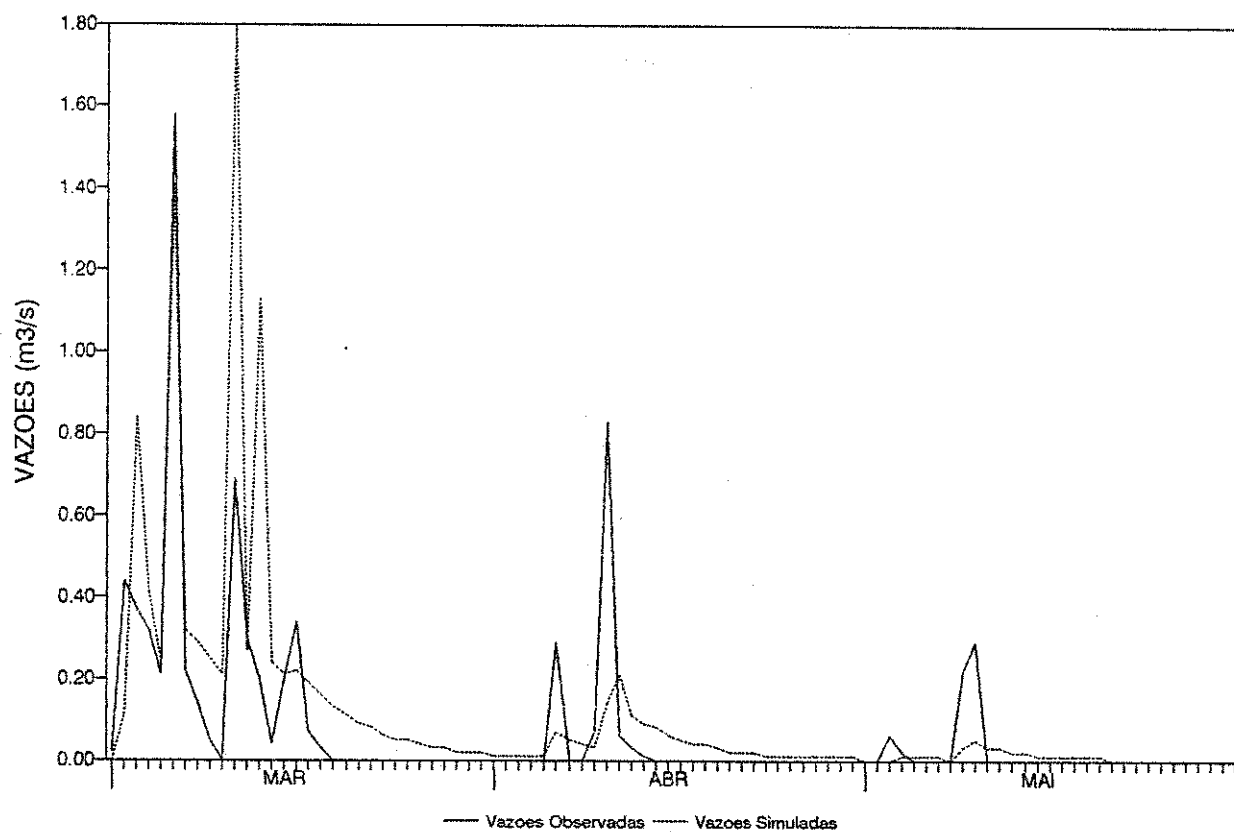


Figura A1.6 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 77/78

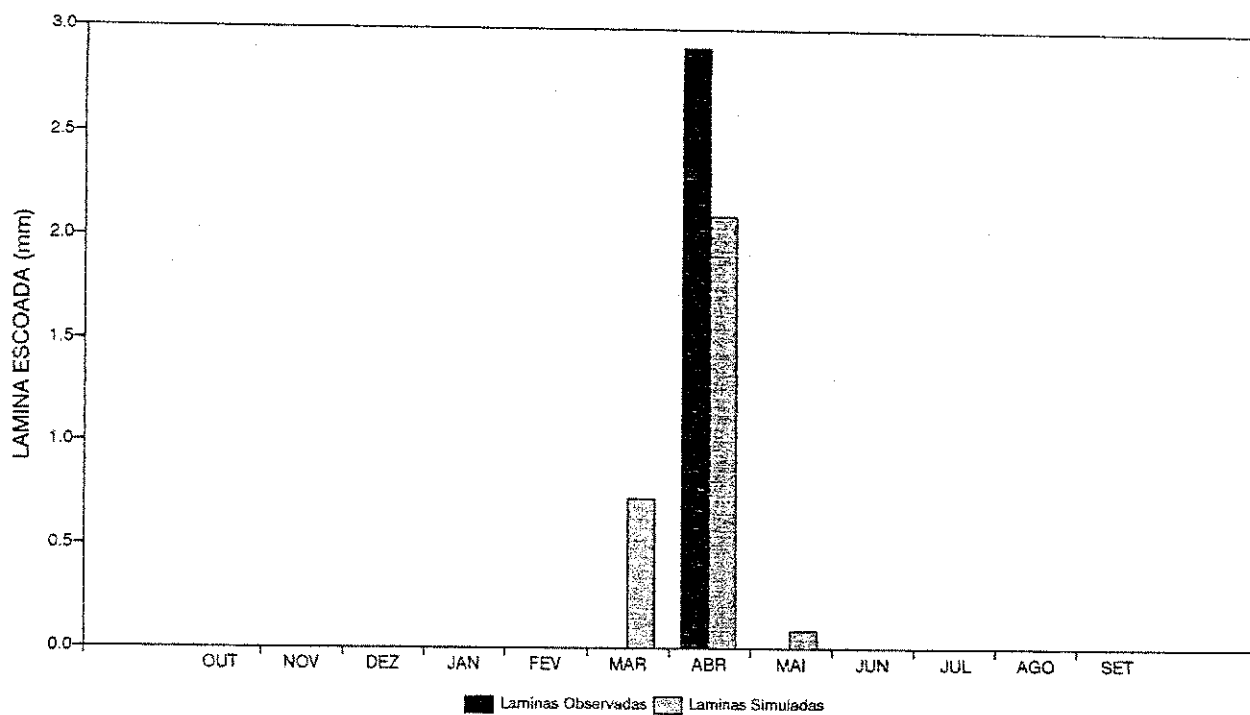


Figura A1.7 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 78/79

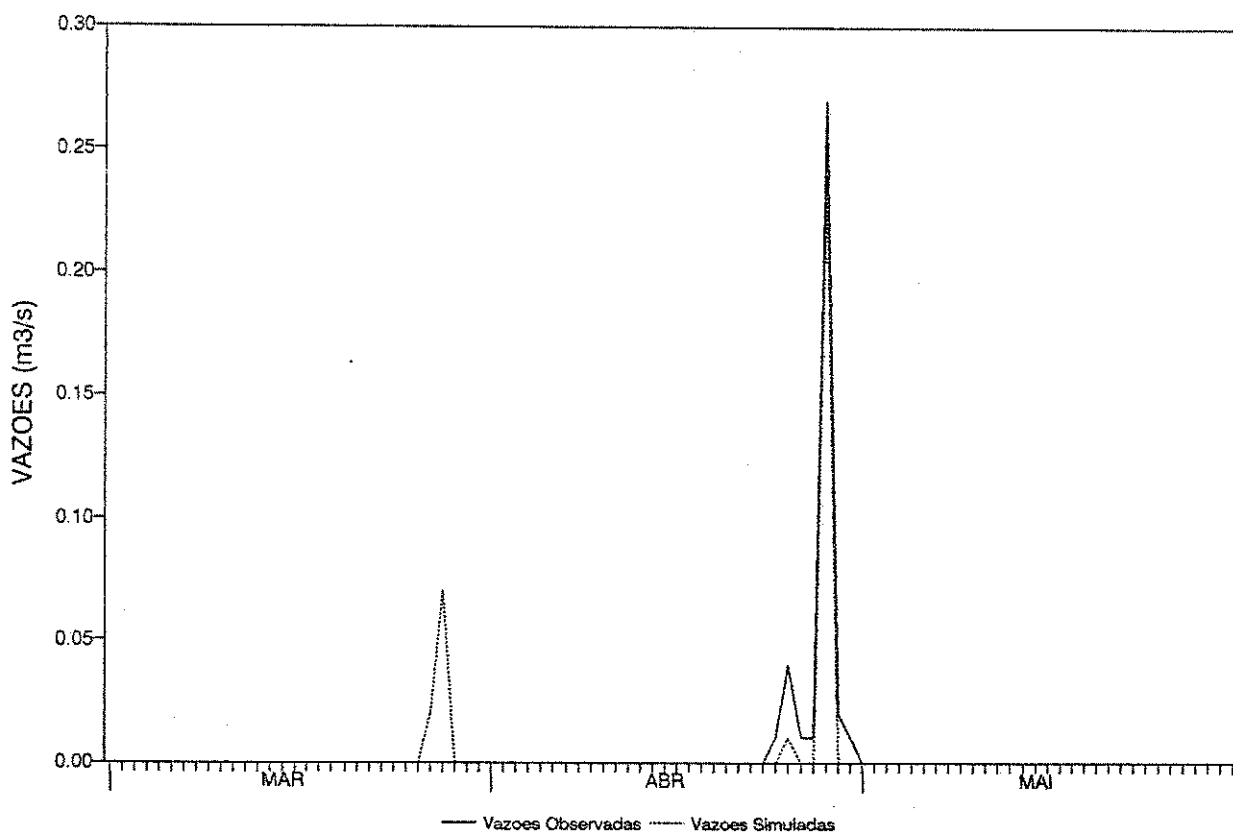


Figura A1.8 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 78/79

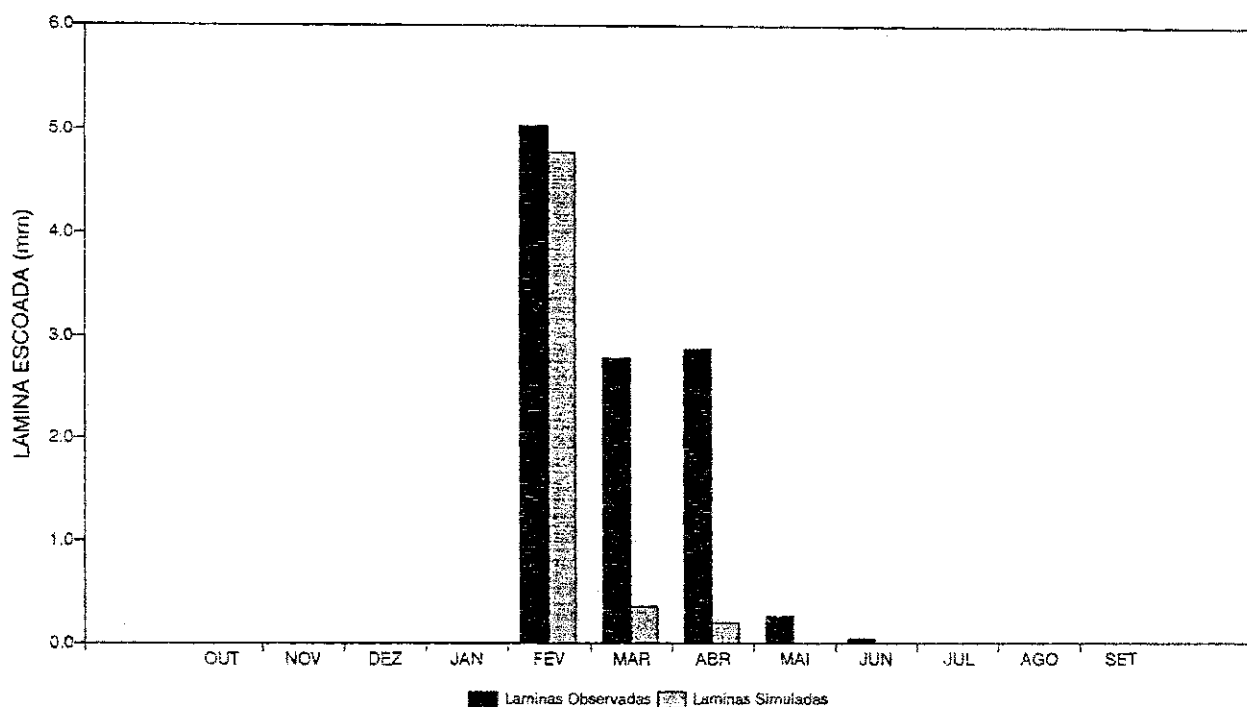


Figura A1.9 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 75/76

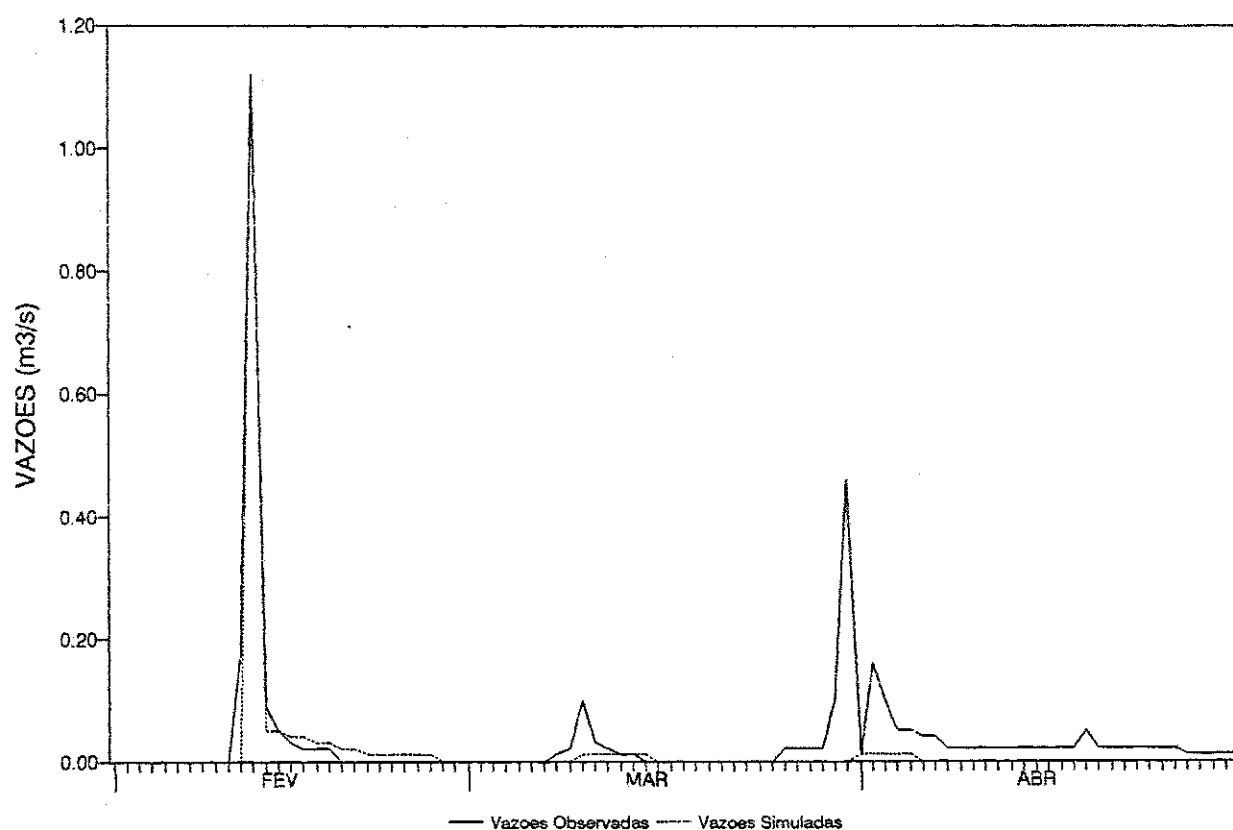


Figura A1.10 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 75/76

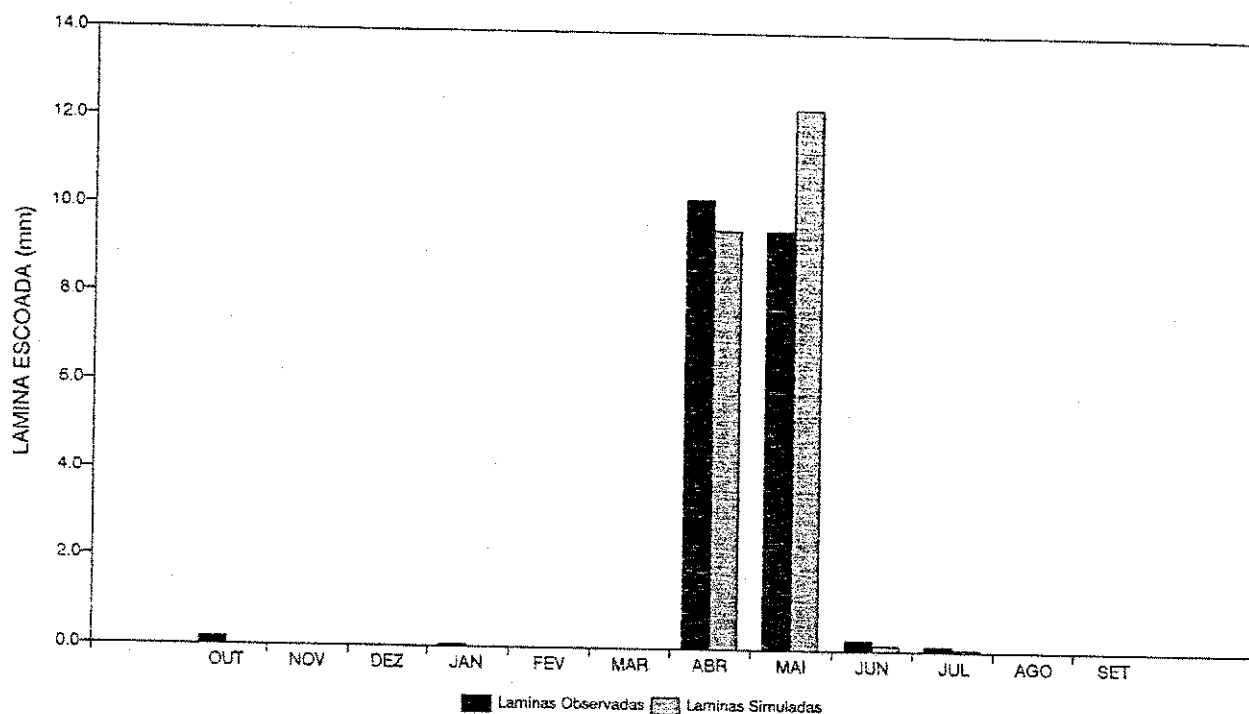


Figura A1.11 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 76/77

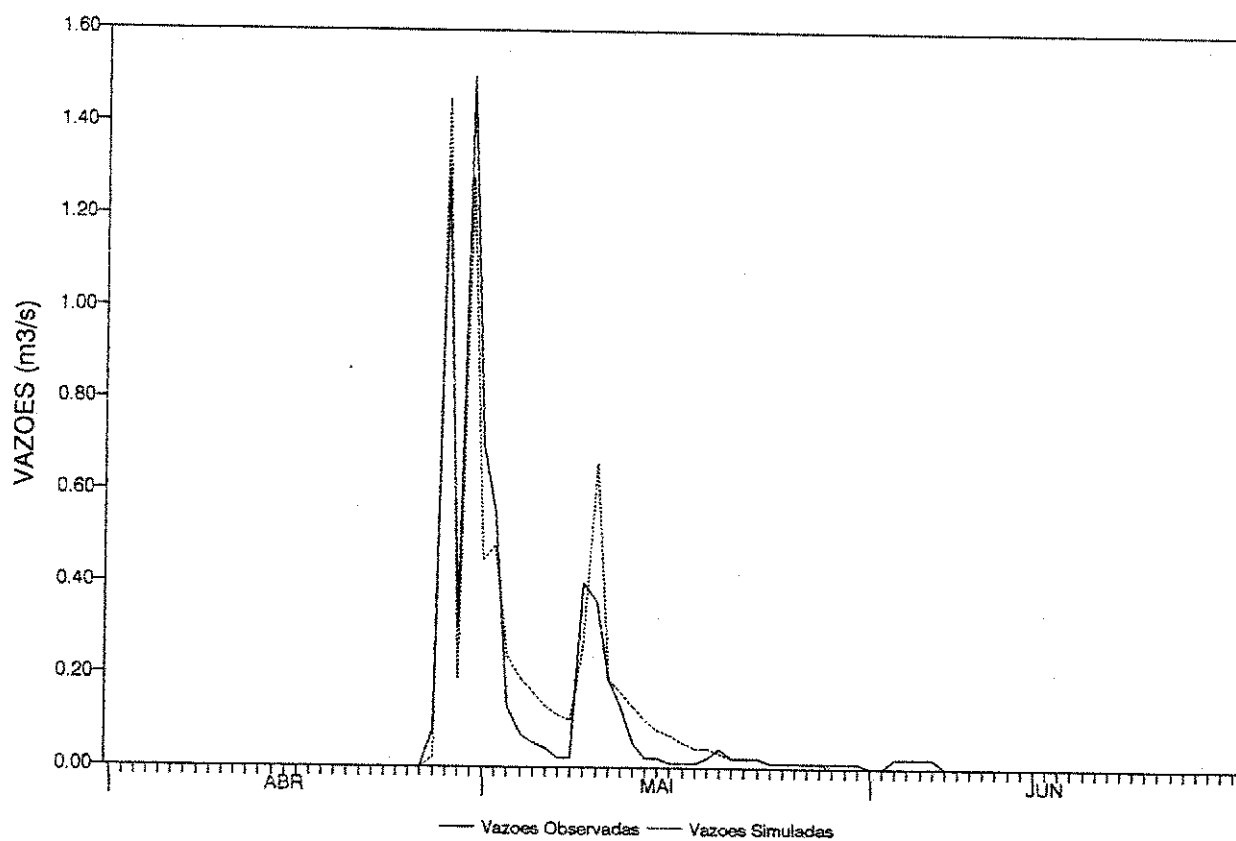


Figura A1.12 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 76/77

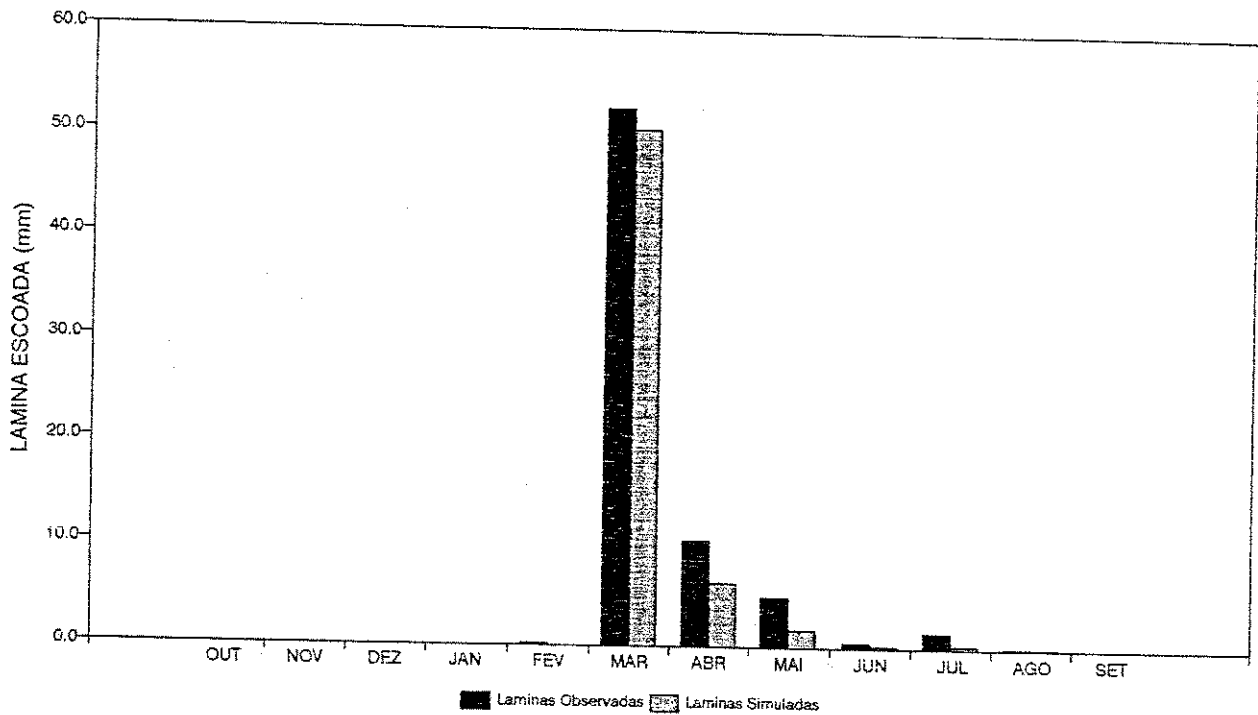


Figura A1.13 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 77/78

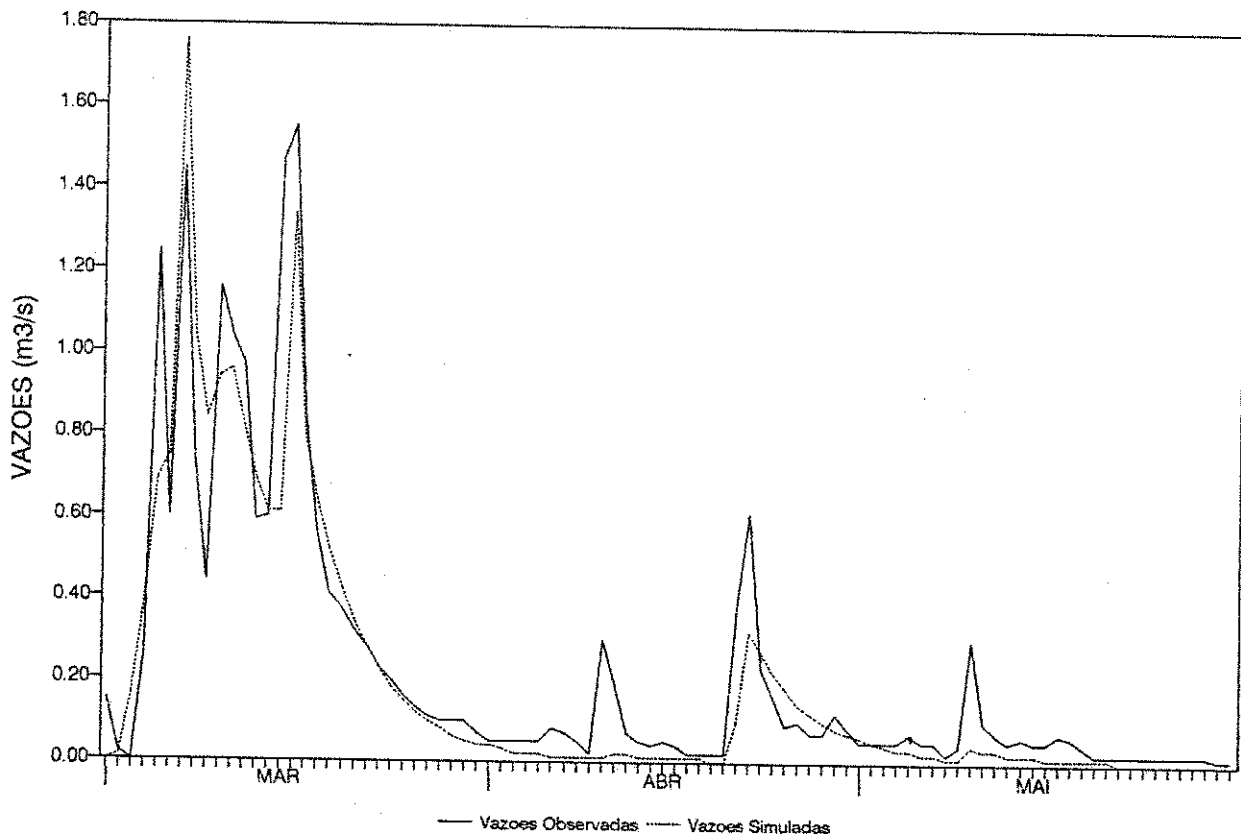


Figura A1.14 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 77/78

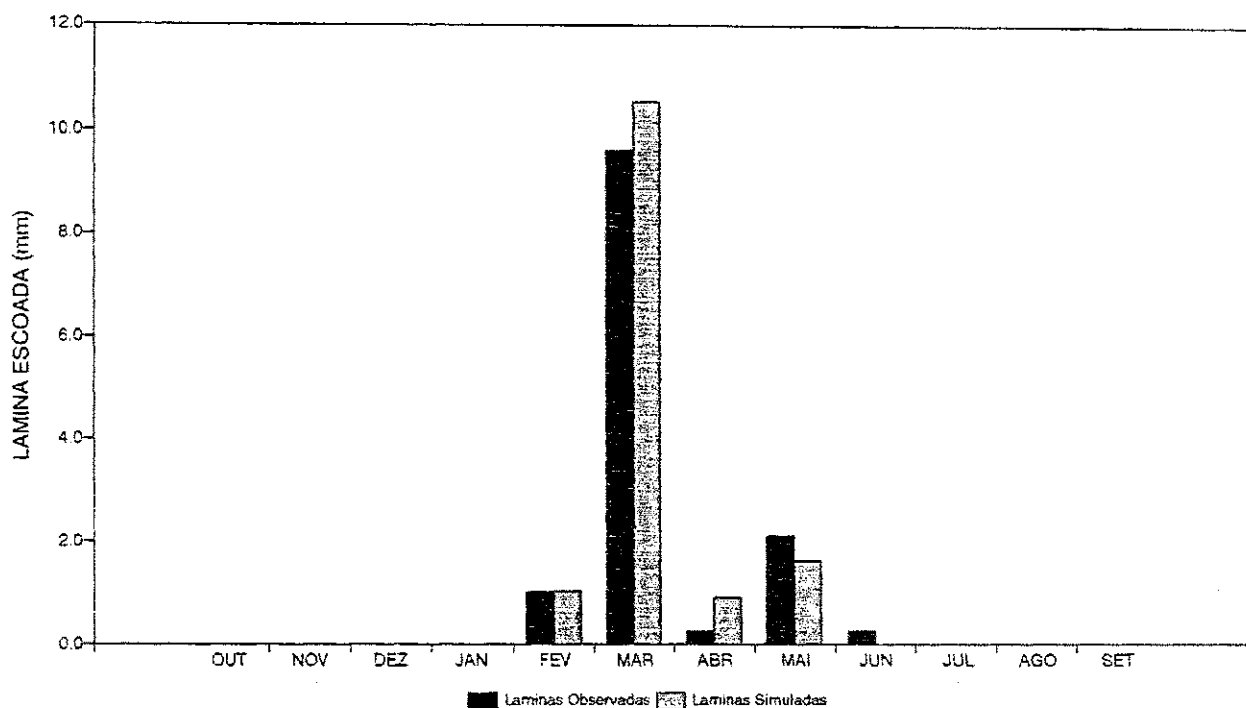


Figura A1.15 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 78/79

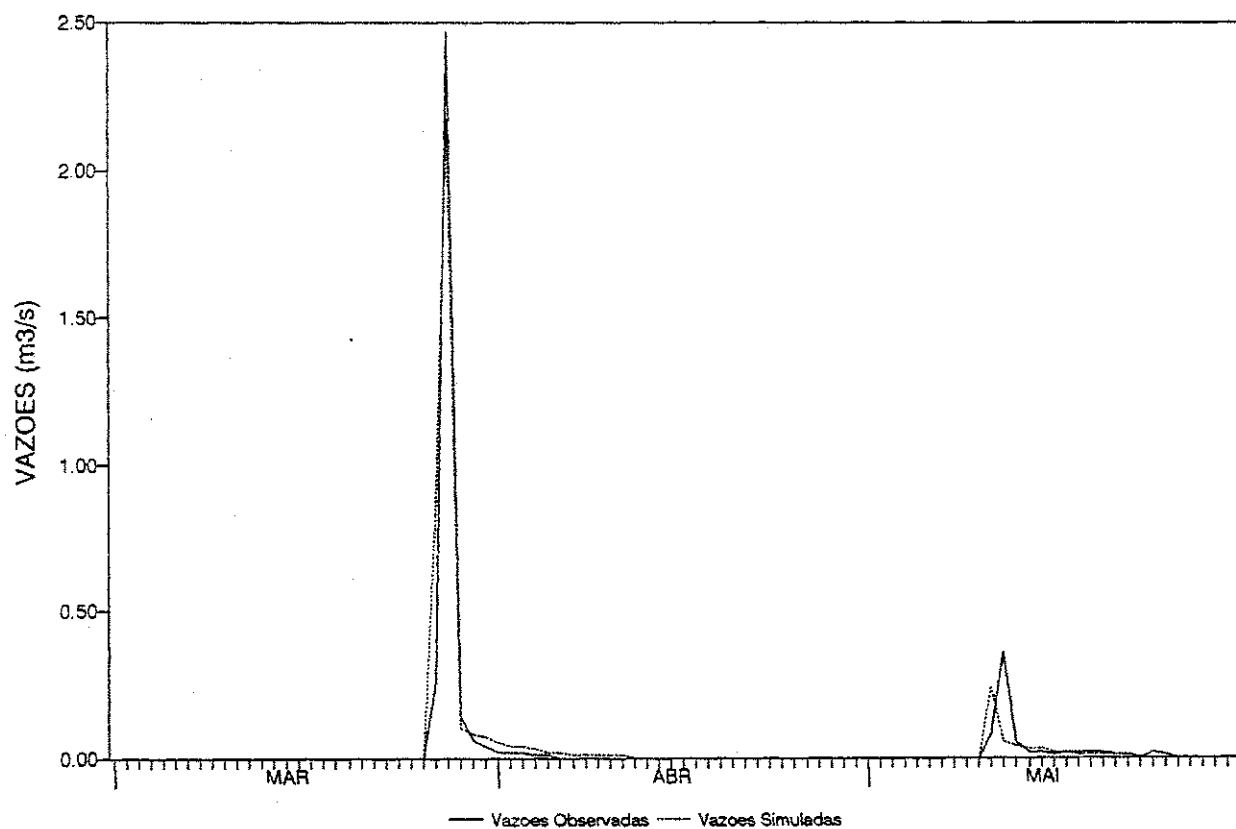


Figura A1.16 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 78/79

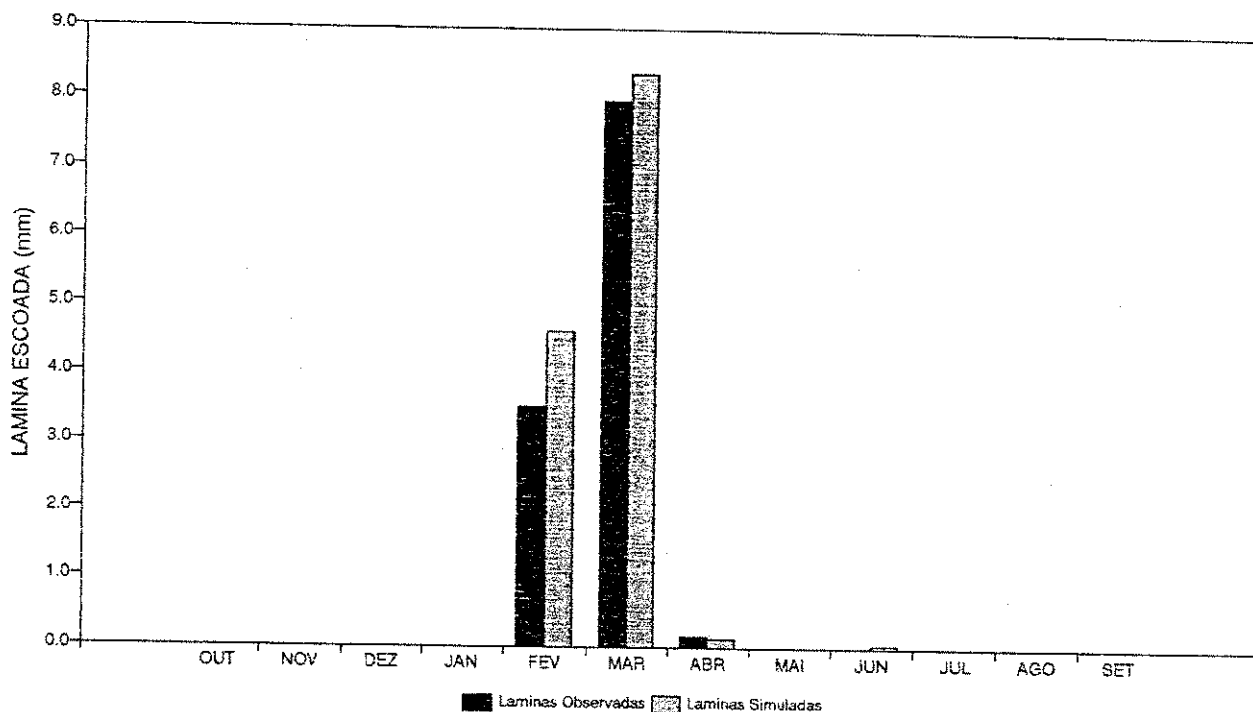


Figura A1.17 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

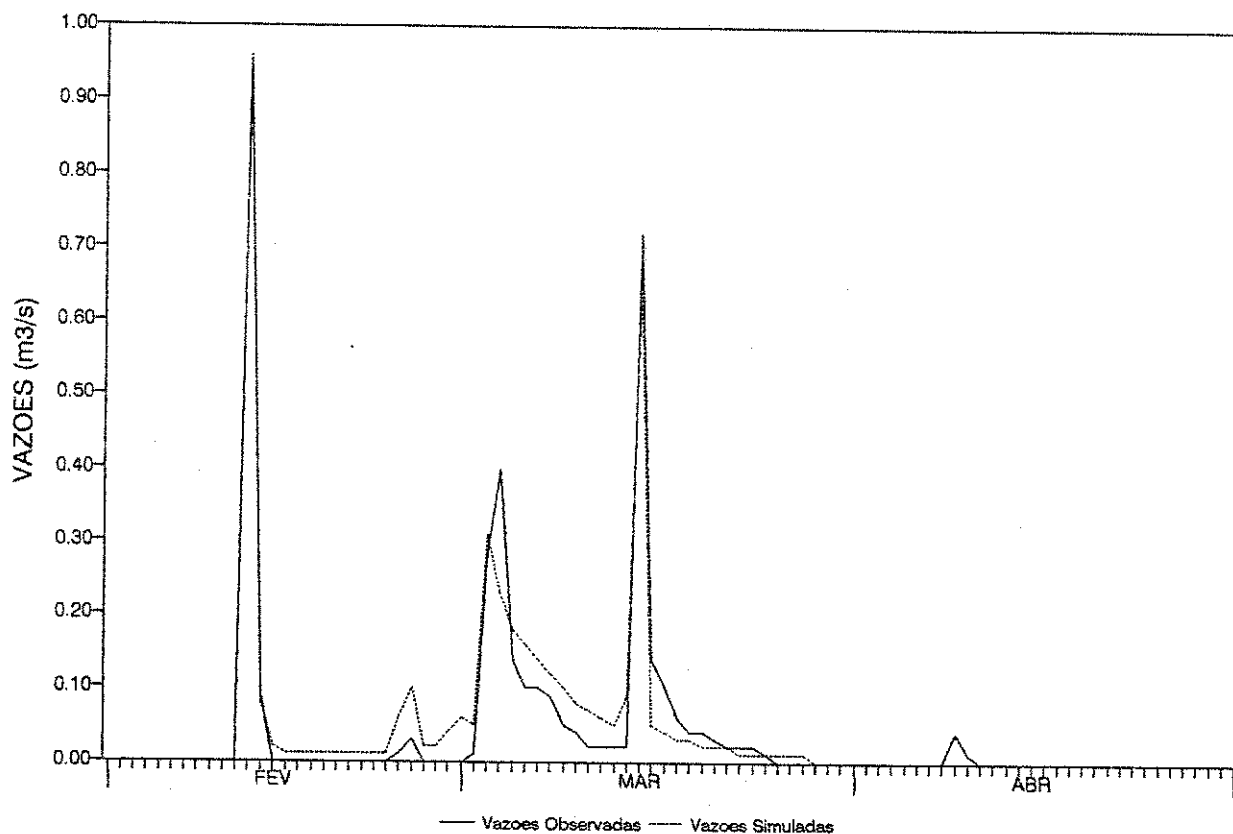


Figura A1.18 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

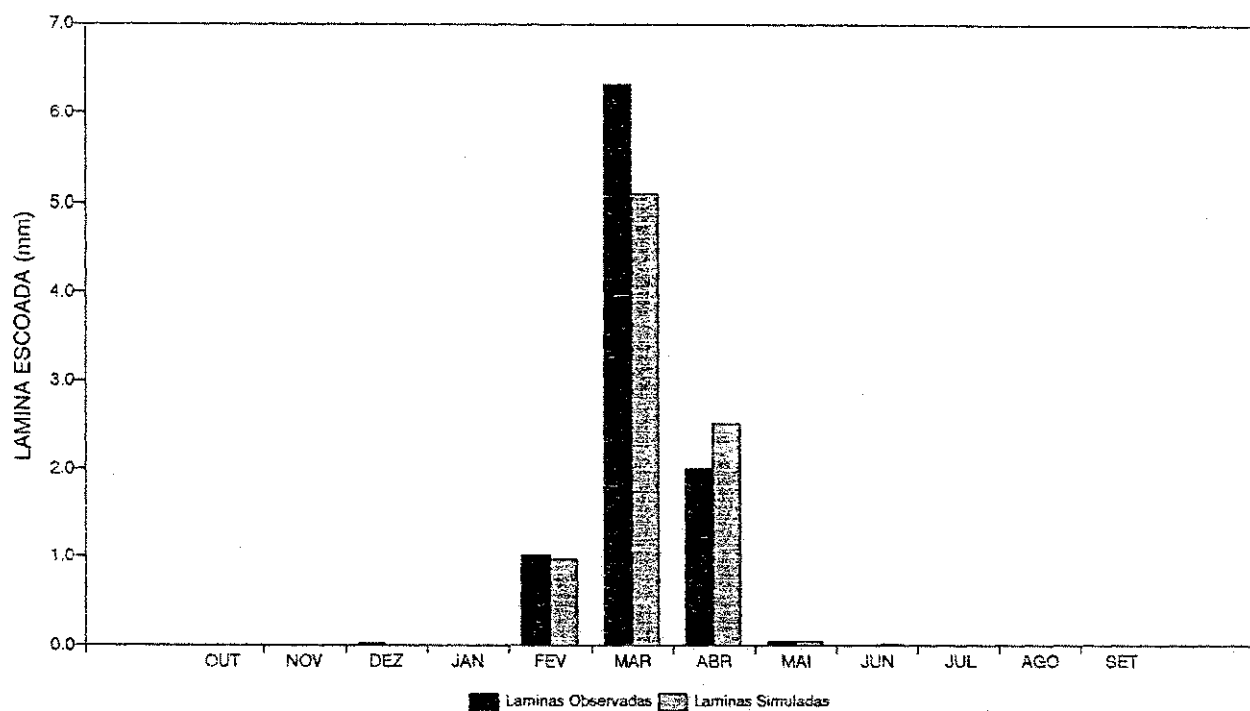


Figura A1.19 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 75/76

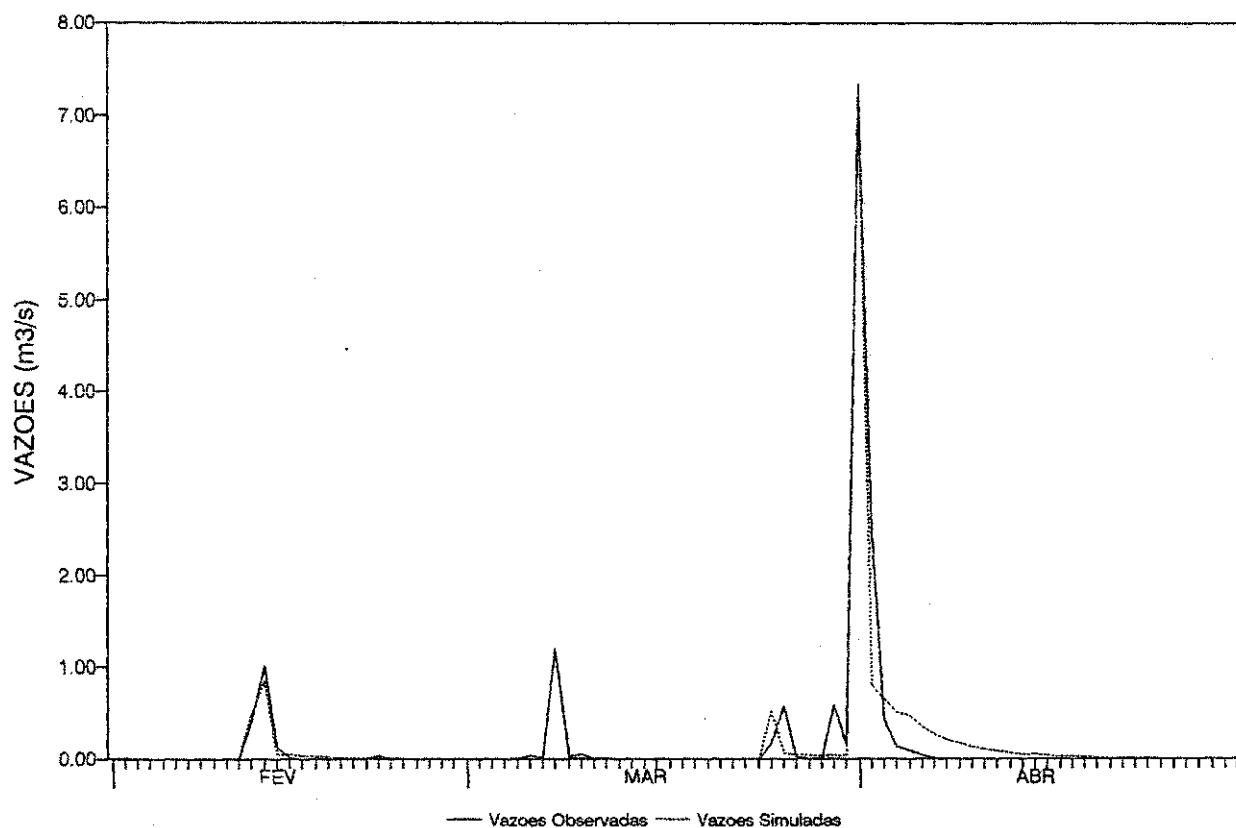


Figura A1.20 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 75/76

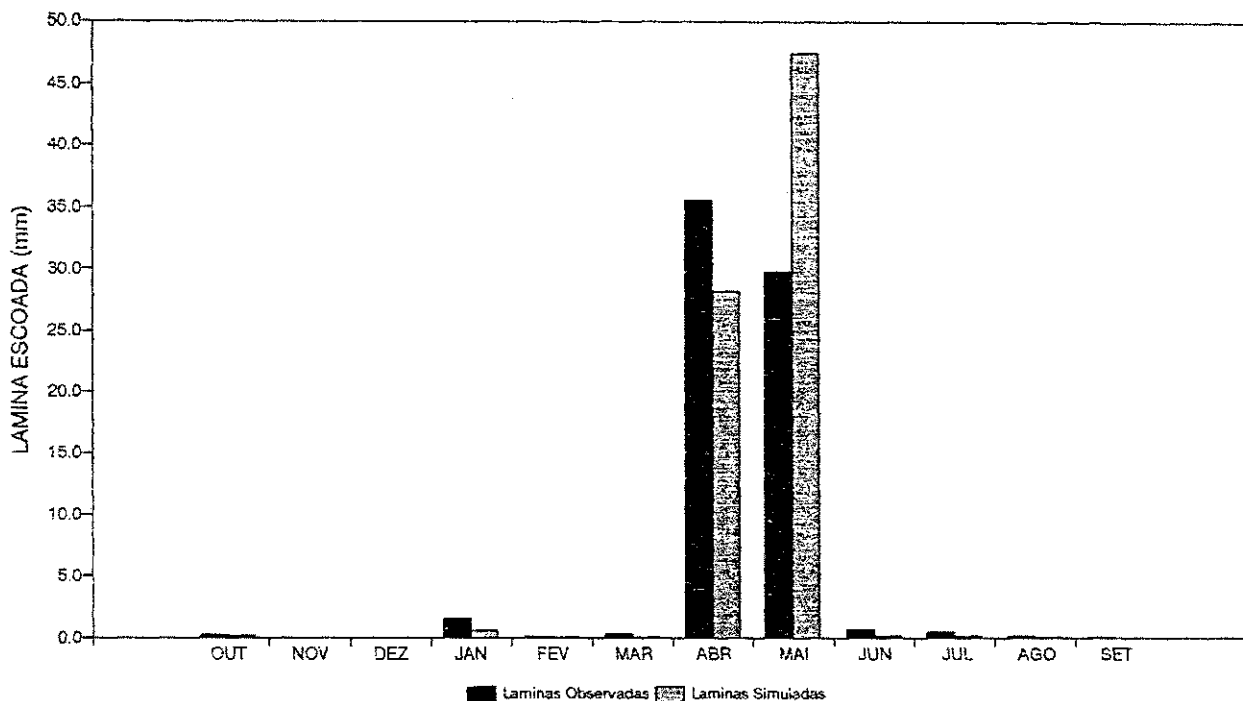


Figura A1.21 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 76/77

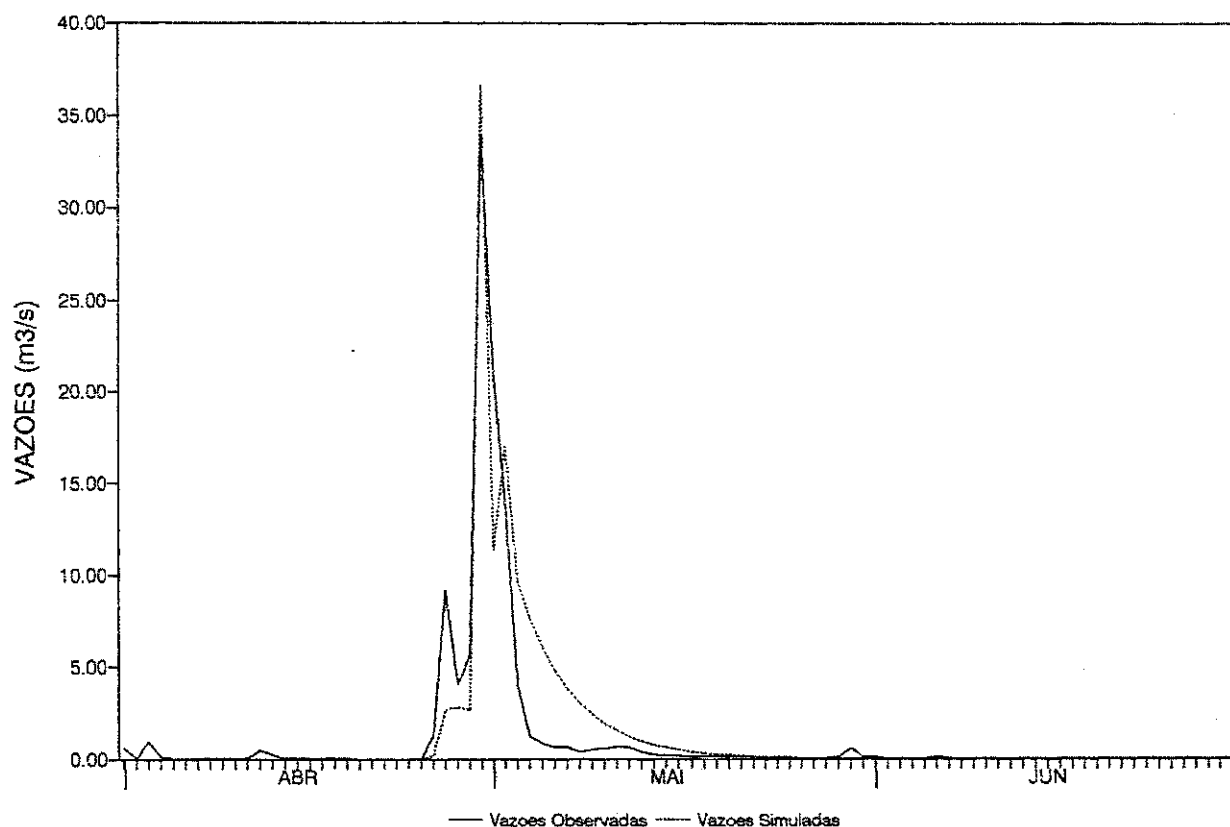


Figura A1.22 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 76/77

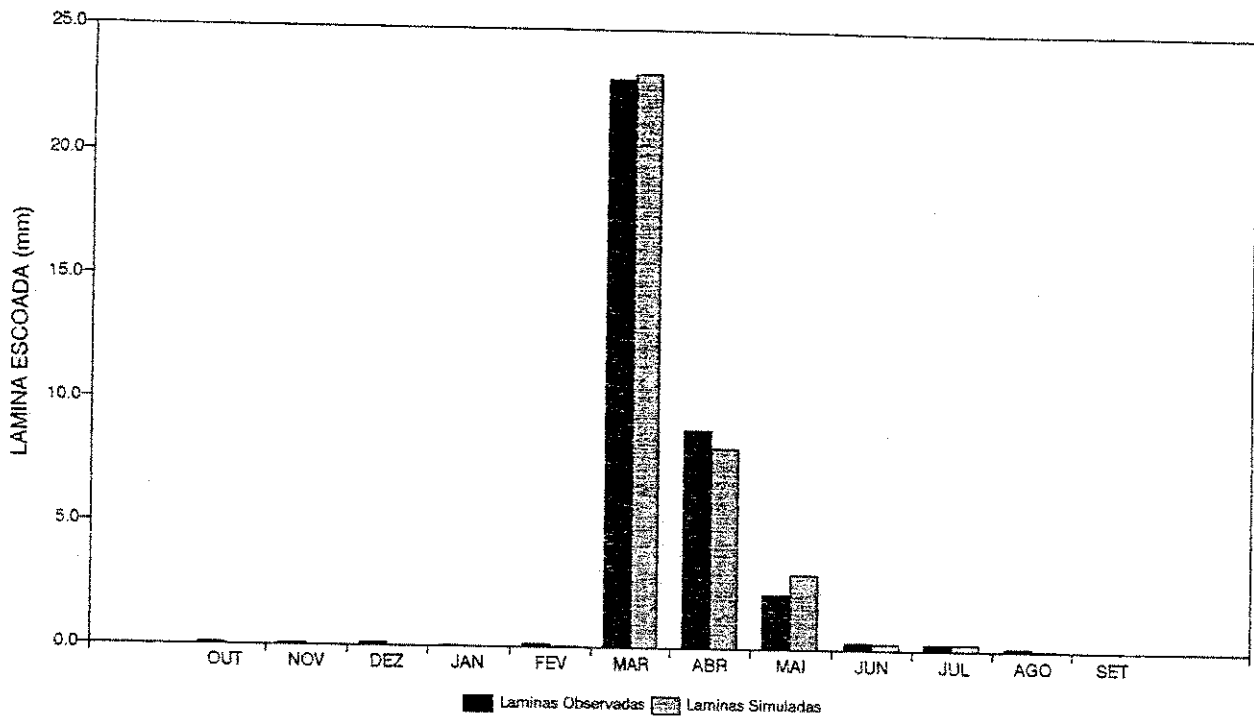


Figura A1.23 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 77/78

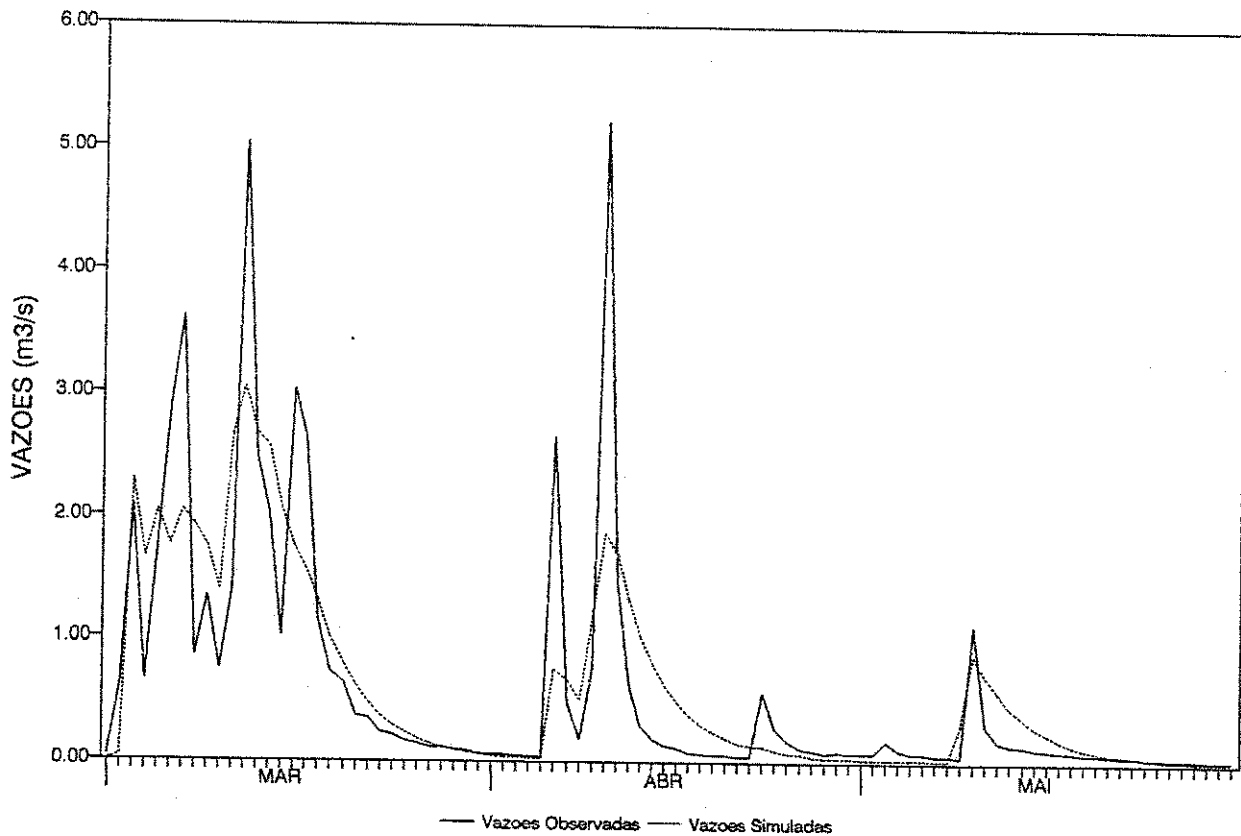


Figura A1.24 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 77/78

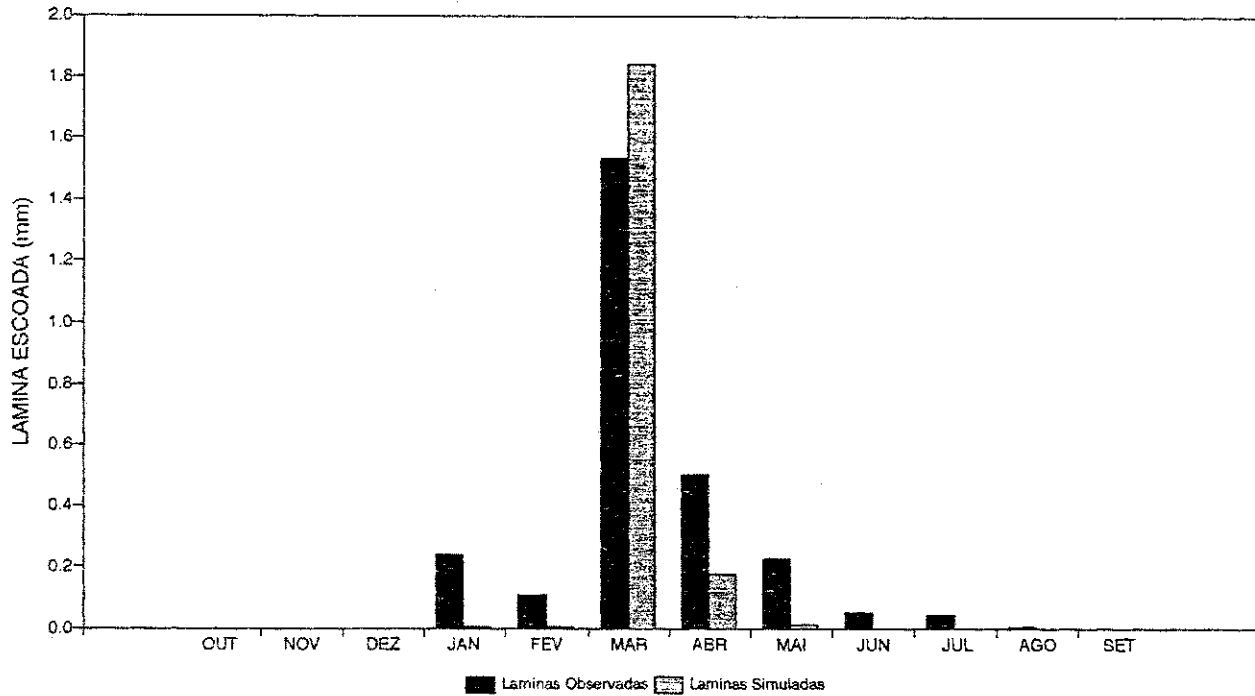


Figura A1.25 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

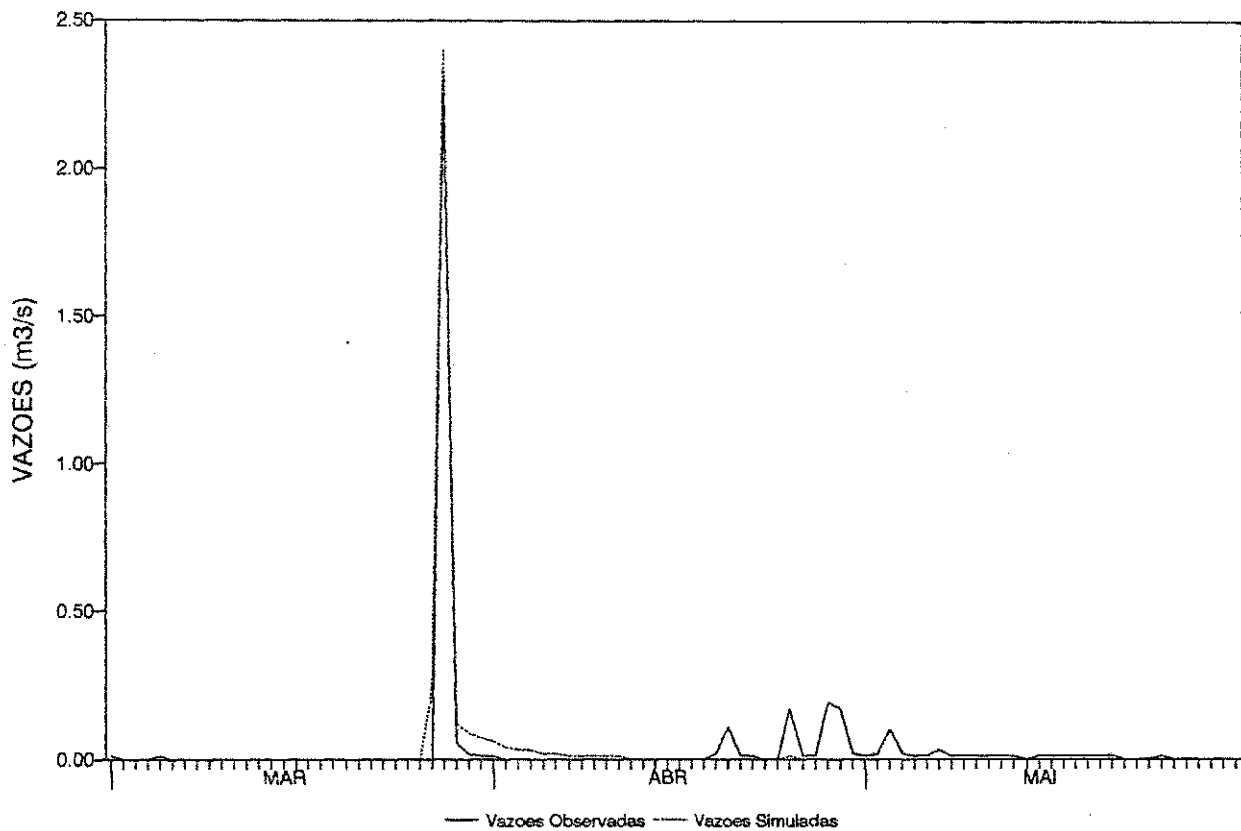


Figura A1.26 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

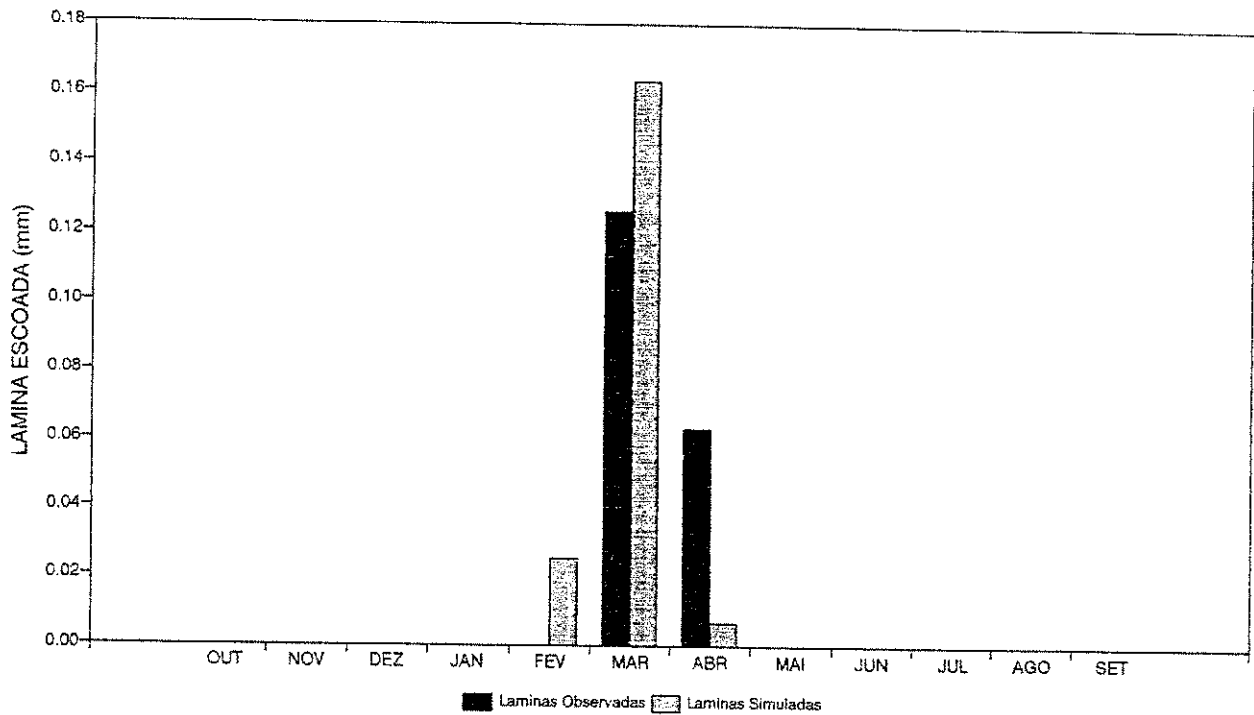


Figura A1.27 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80

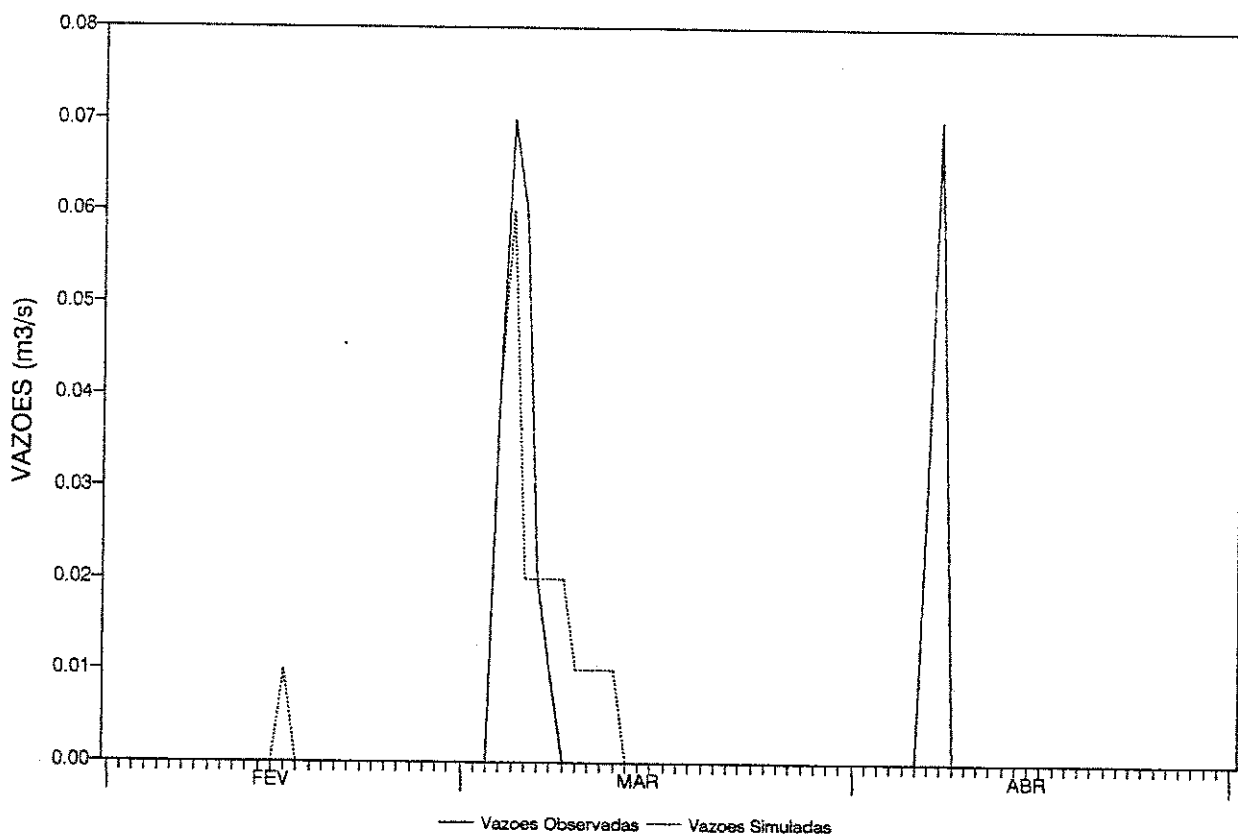


Figura A1.28 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80

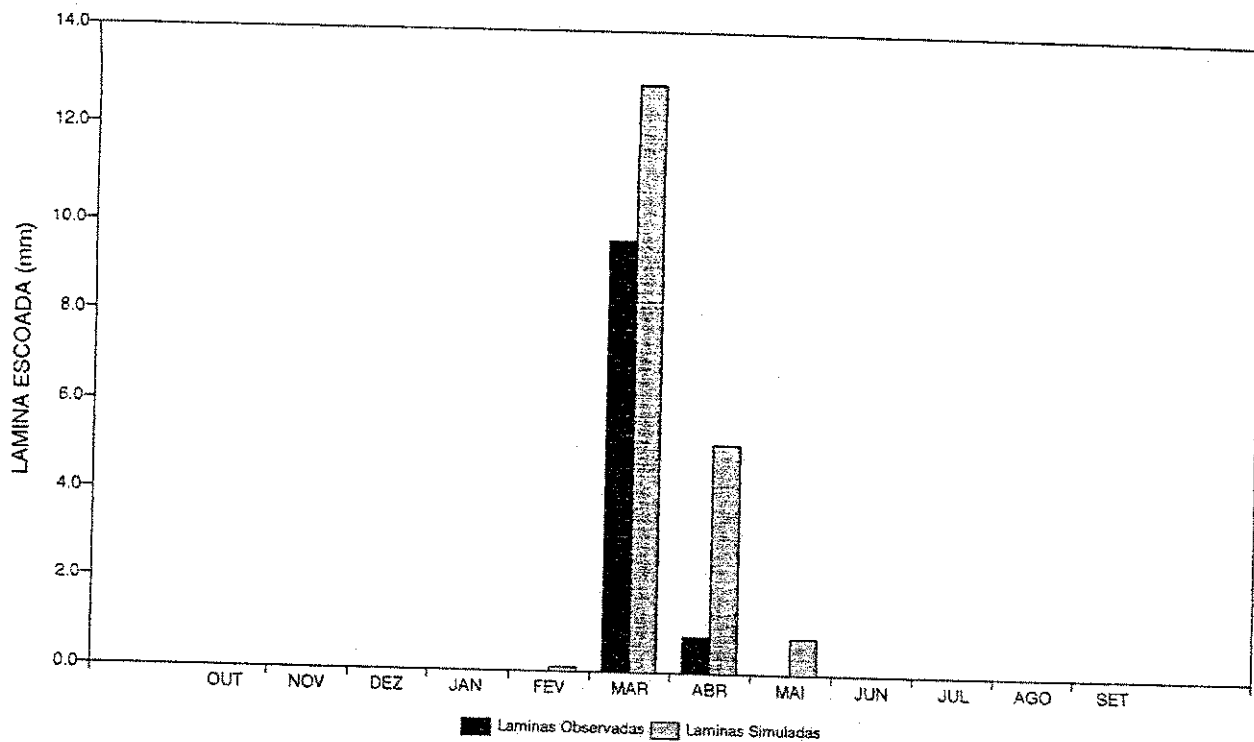


Figura A1.29 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

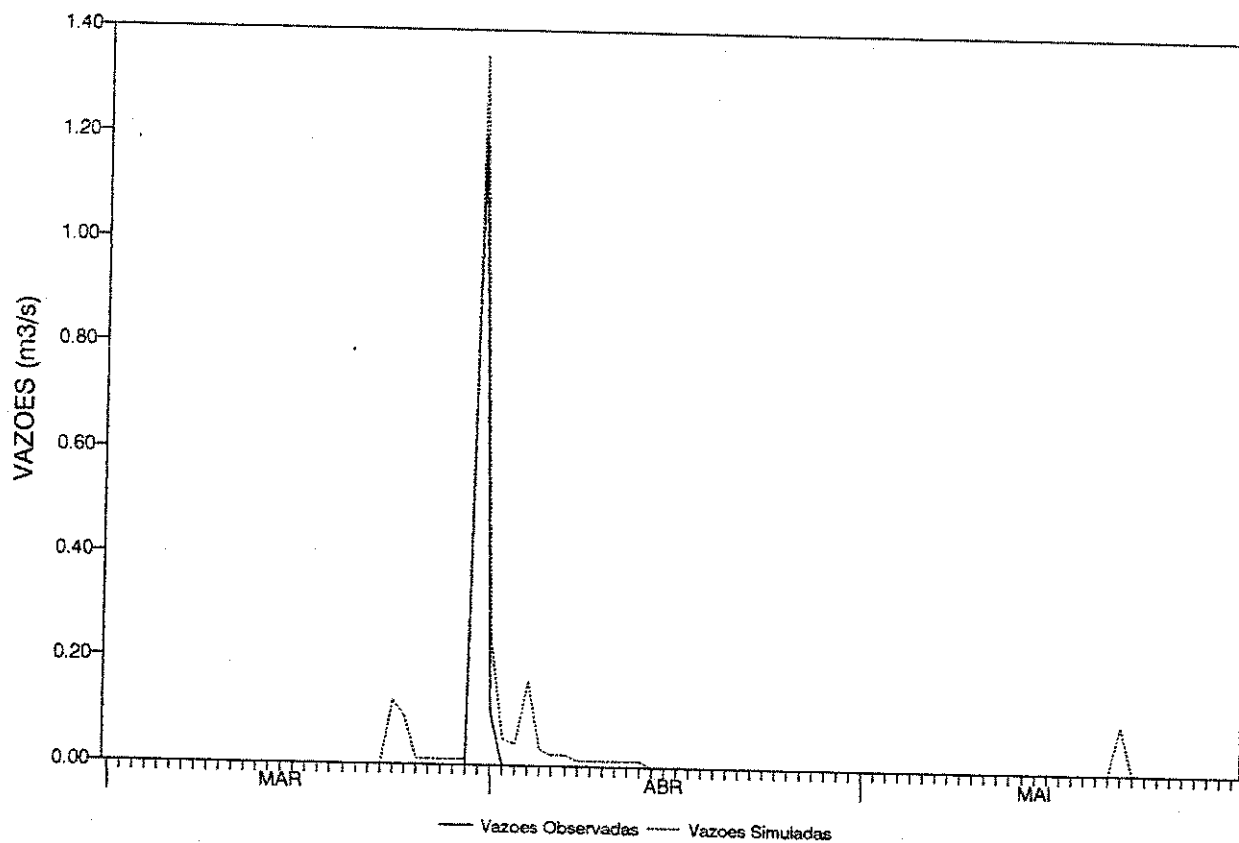


Figura A1.30 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

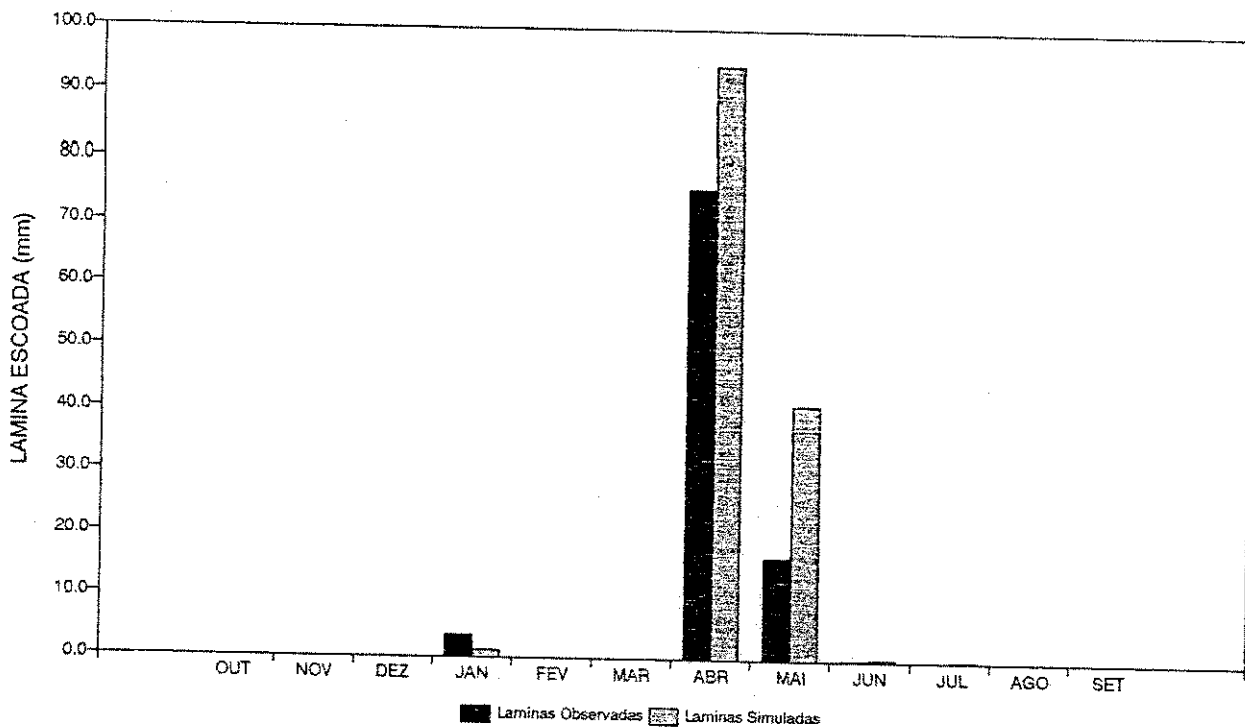


Figura A1.31 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 76/77

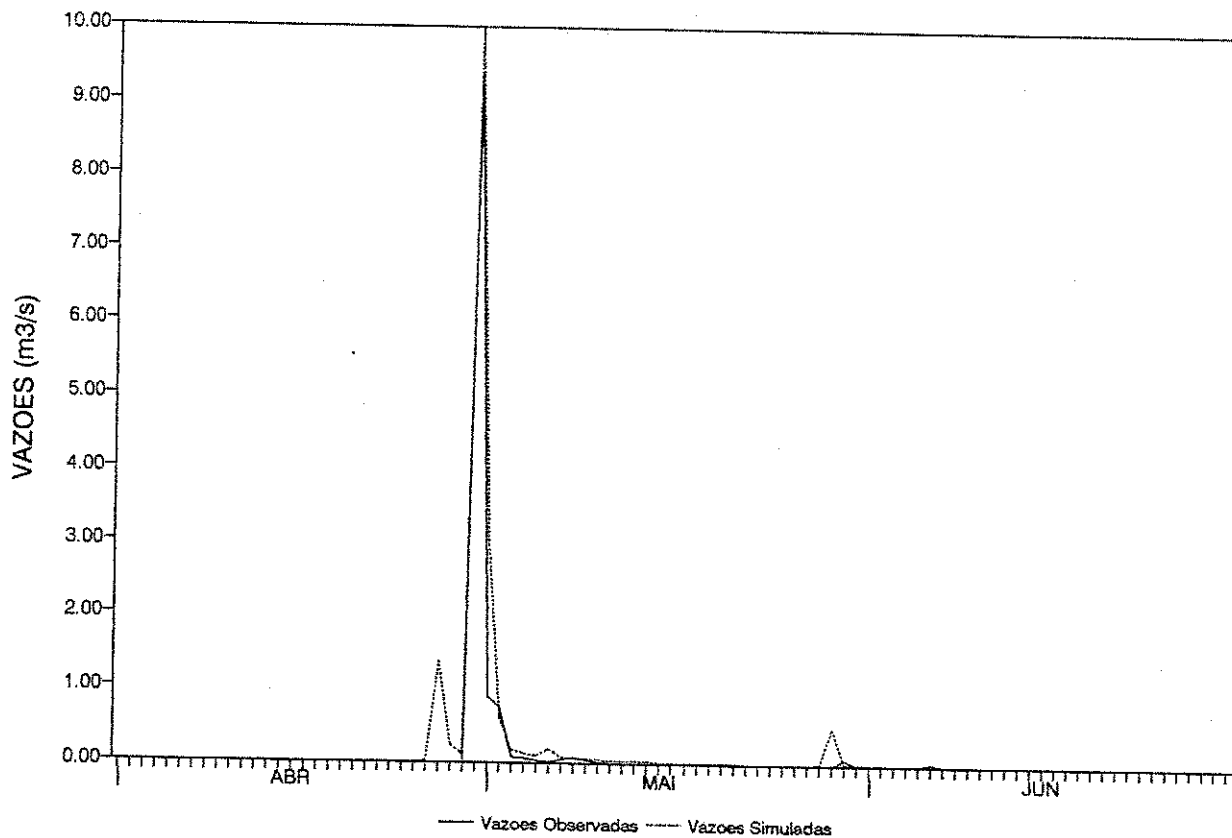


Figura A1.32 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 76/77

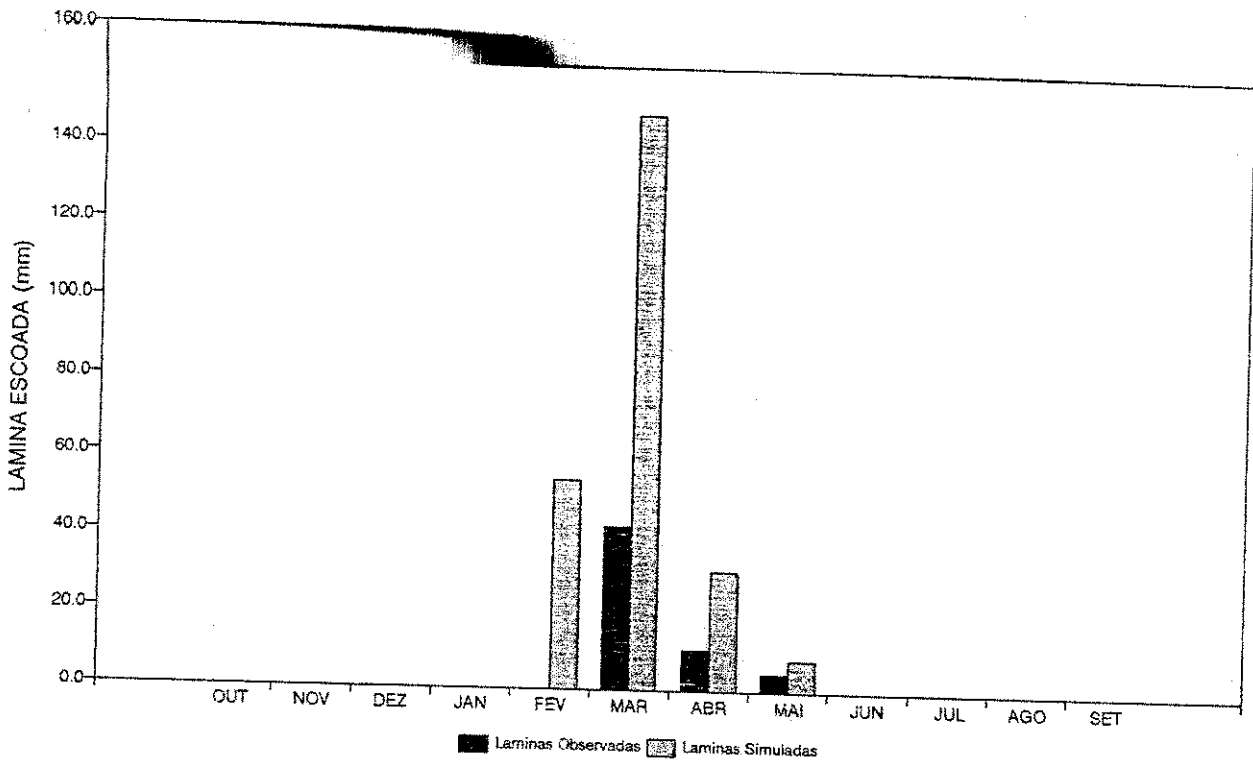


Figura A1.33 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 77/78

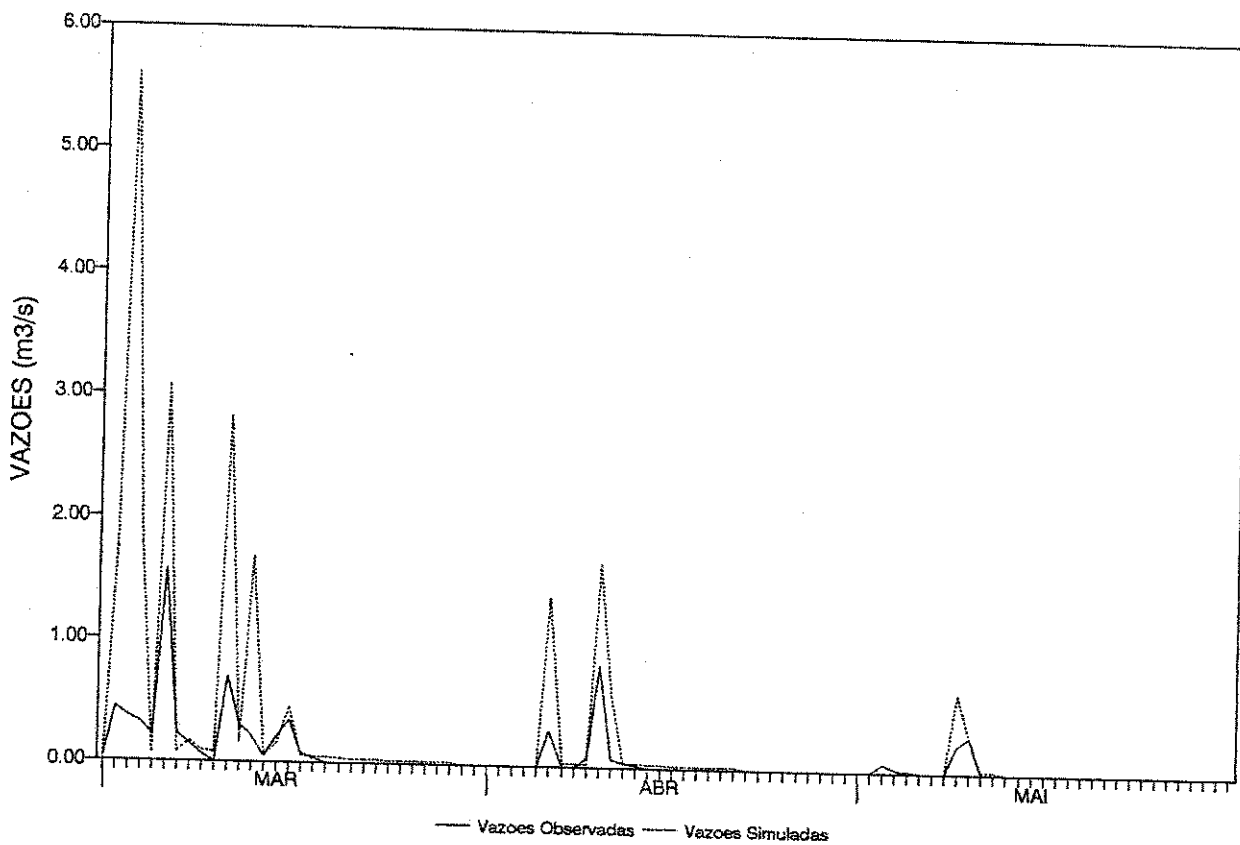


Figura A1.34 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 77/78

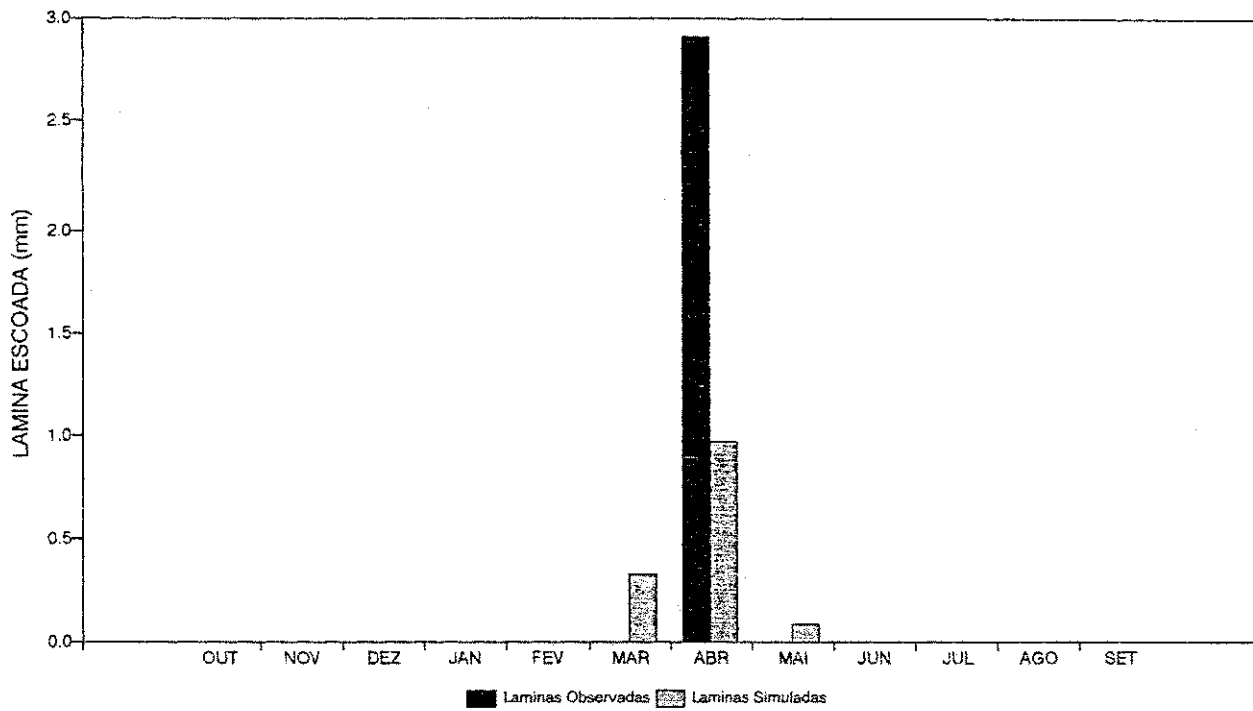


Figura A1.35 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 78/79

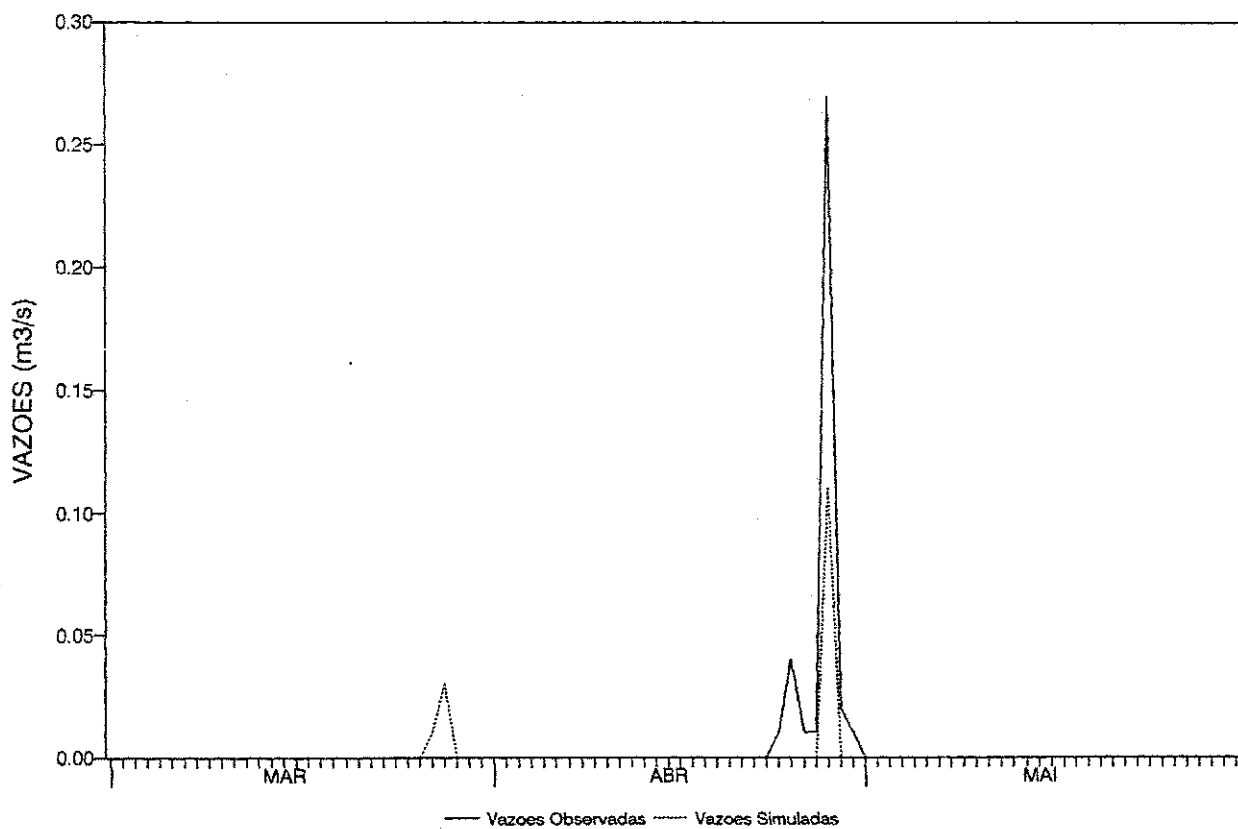


Figura A1.36 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Umburana - Ano: 78/79

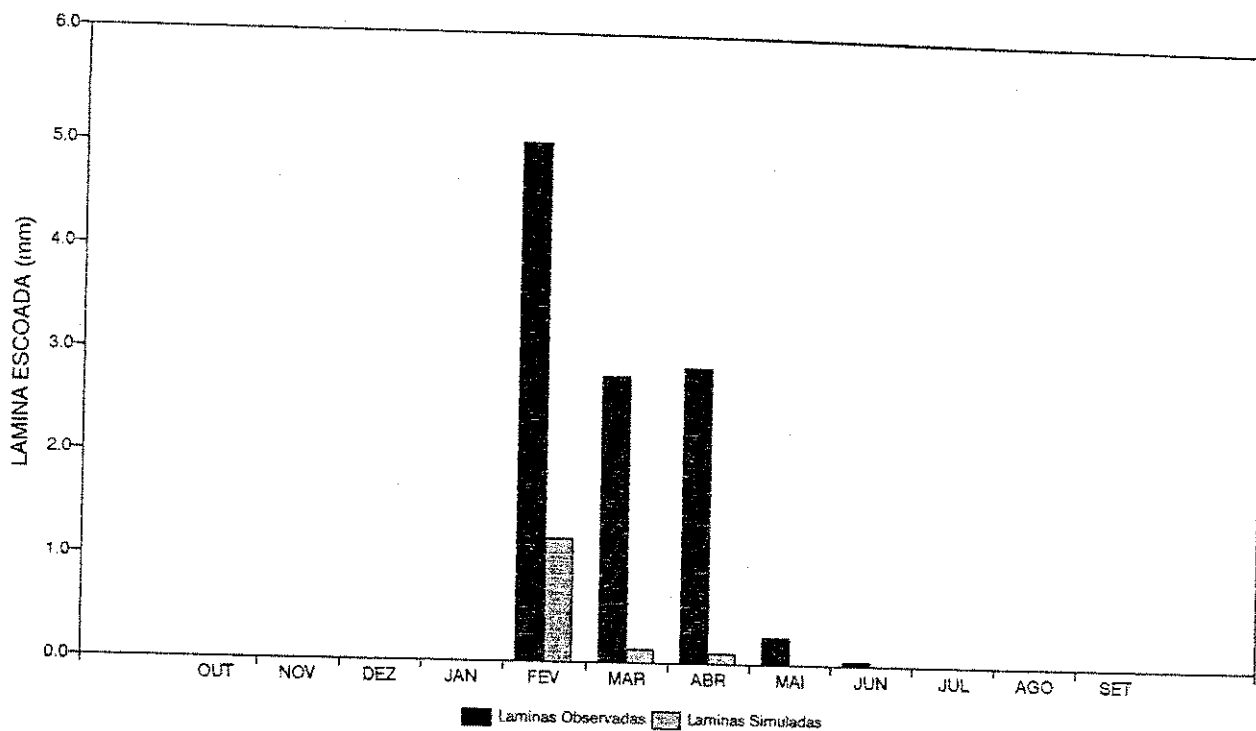


Figura A1.37 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 75/76

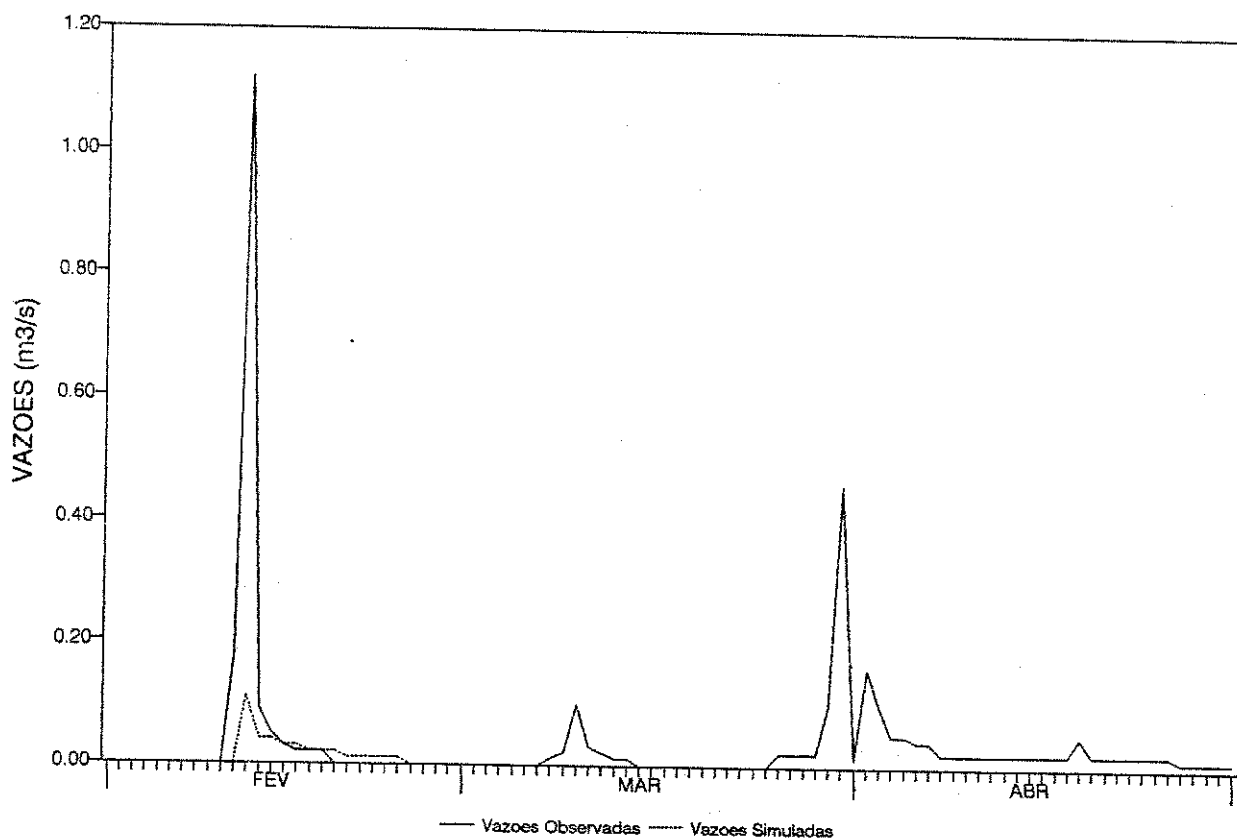


Figura A1.38 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 75/76

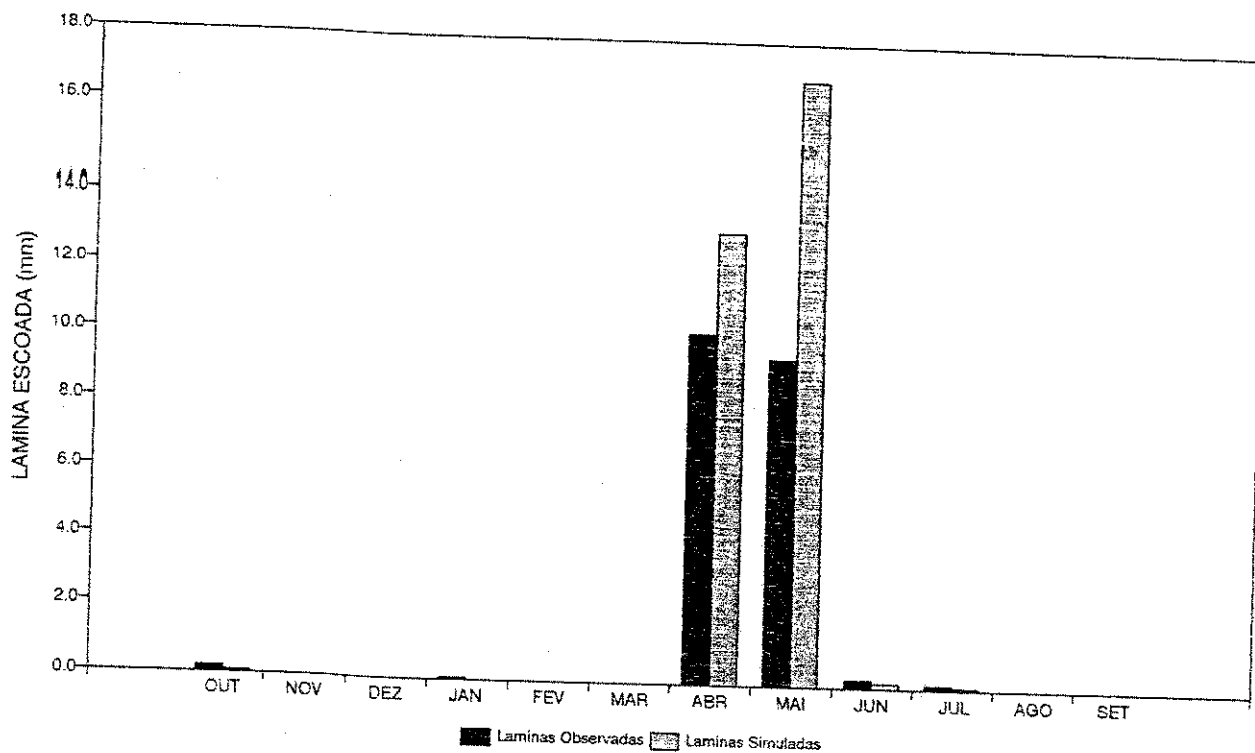


Figura A1.39 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 76/77

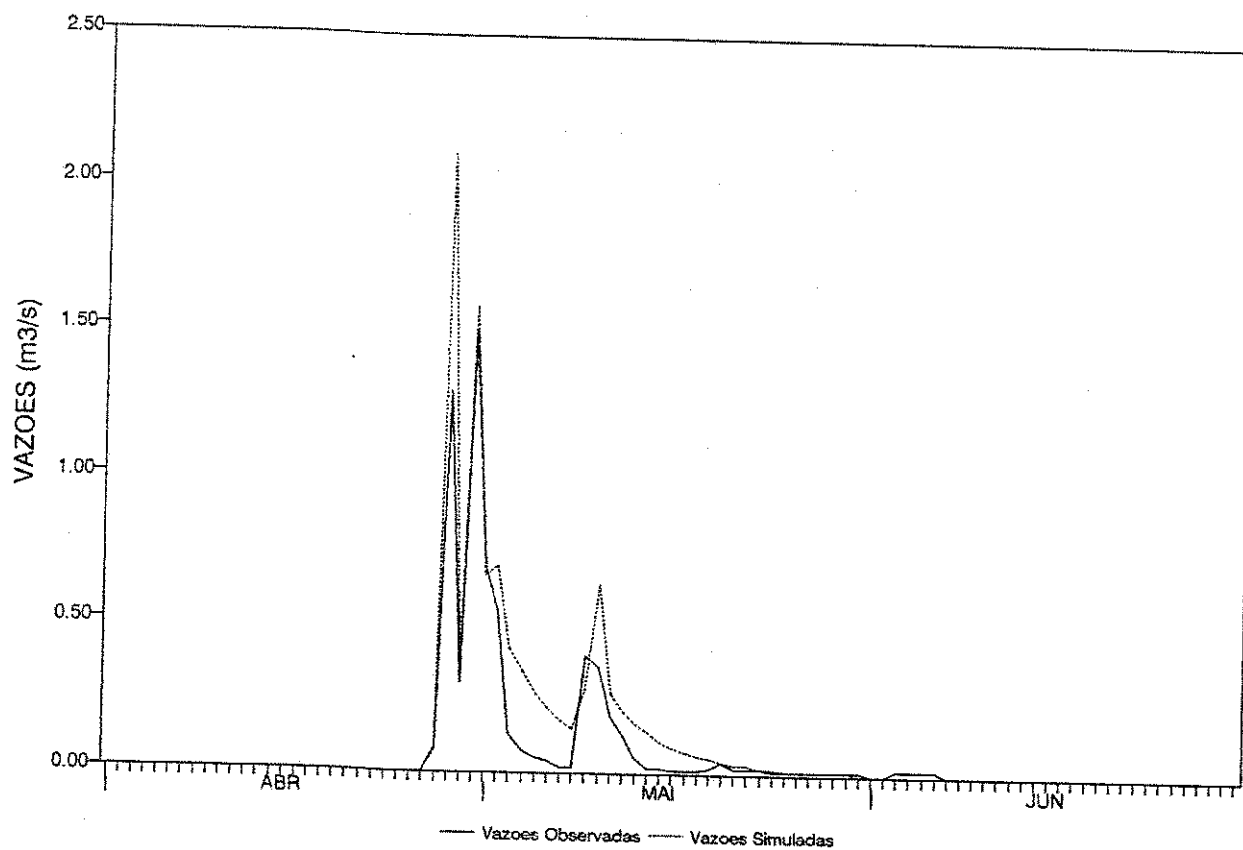


Figura A1.40 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 76/77

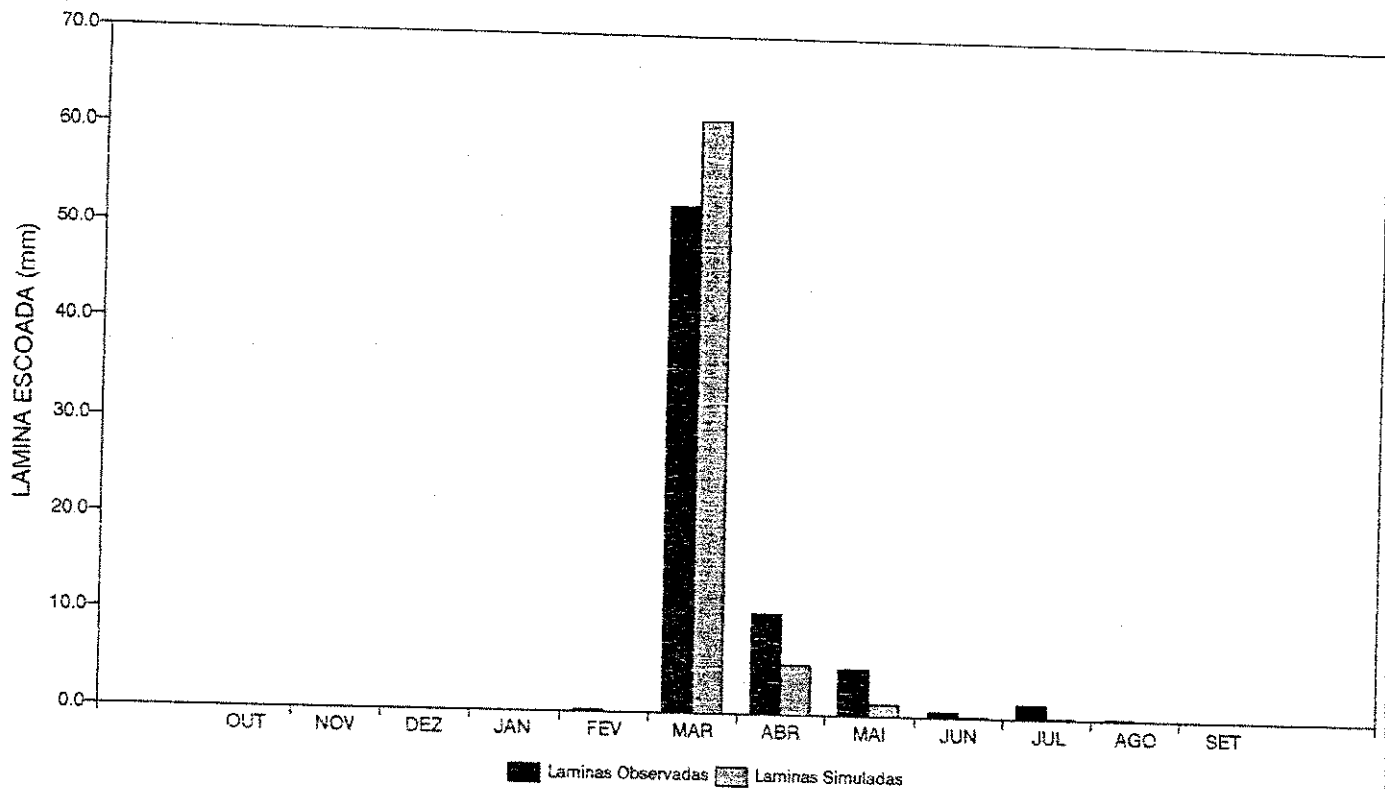


Figura A1.41 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 77/78

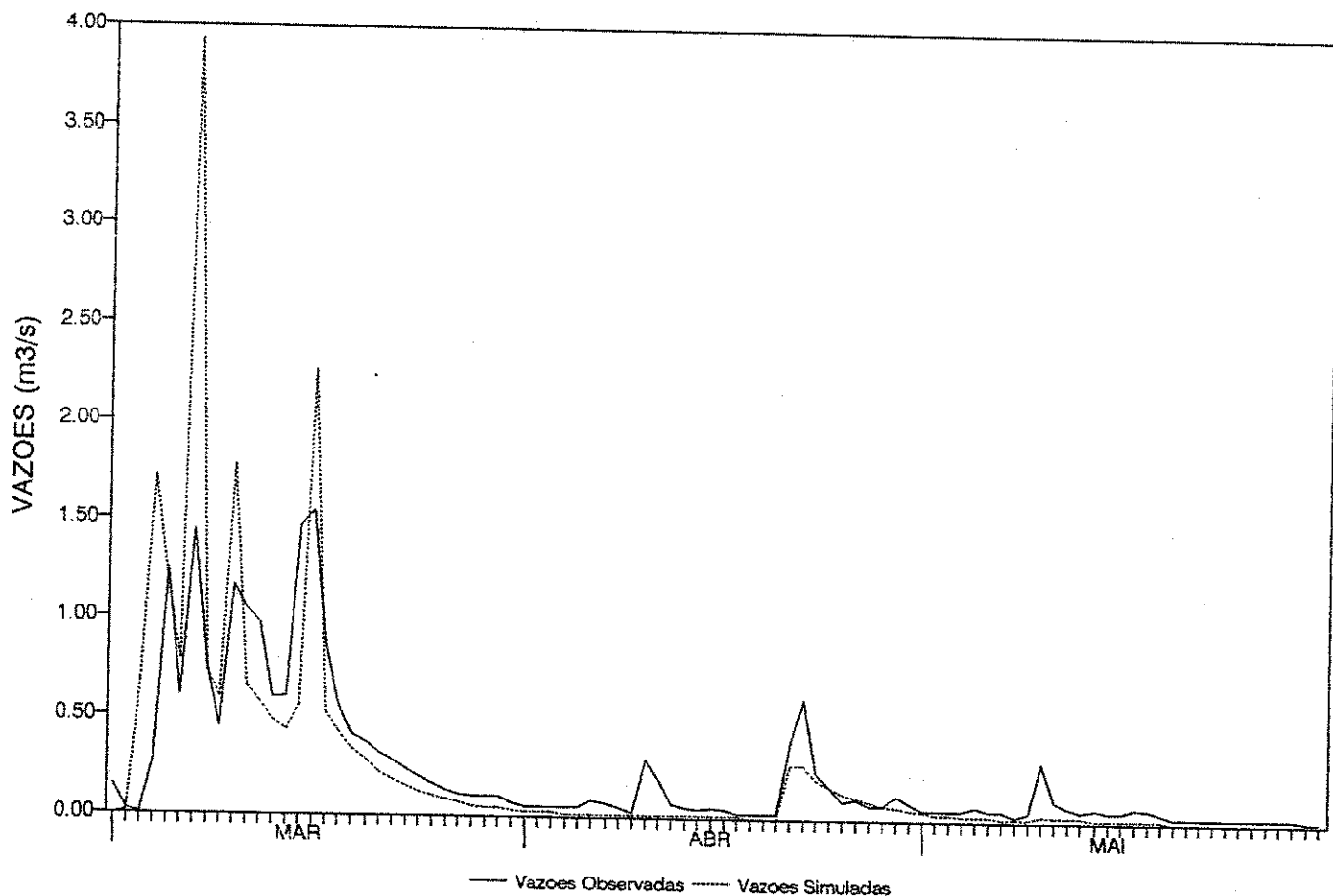


Figura A1.42 - Hidrogramas diários observado e simulado
 Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 77/78

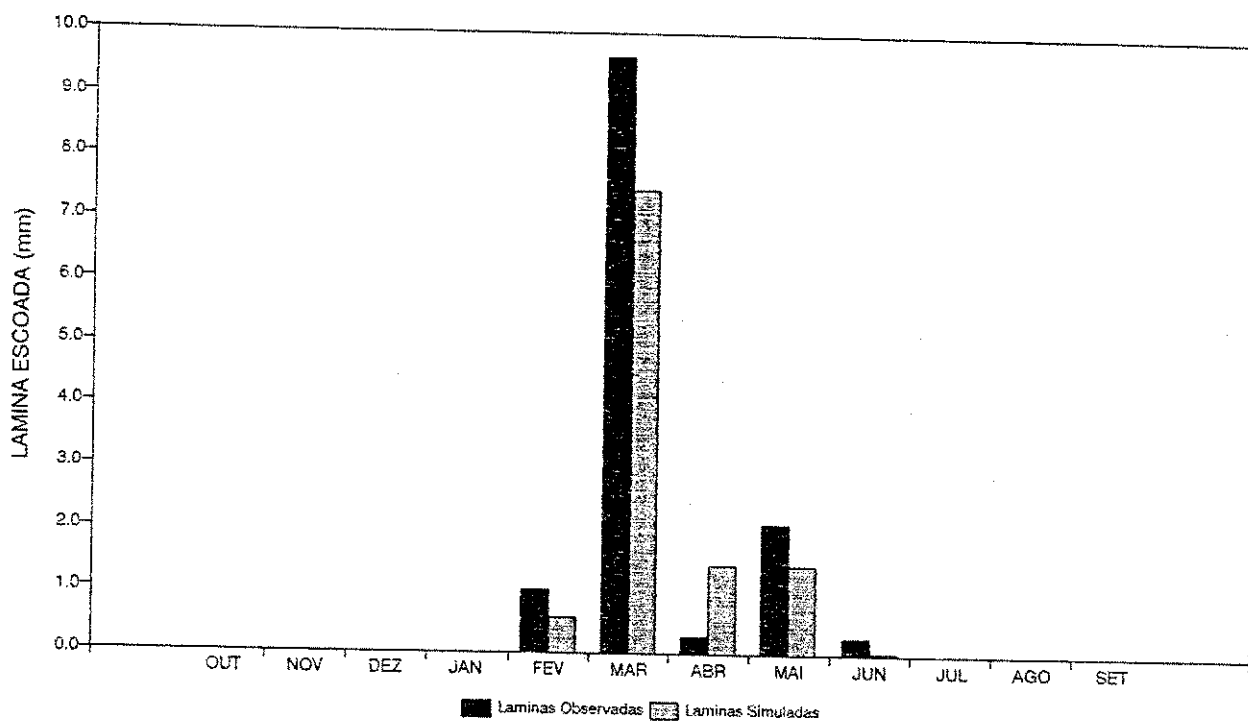


Figura Al.43 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 78/79

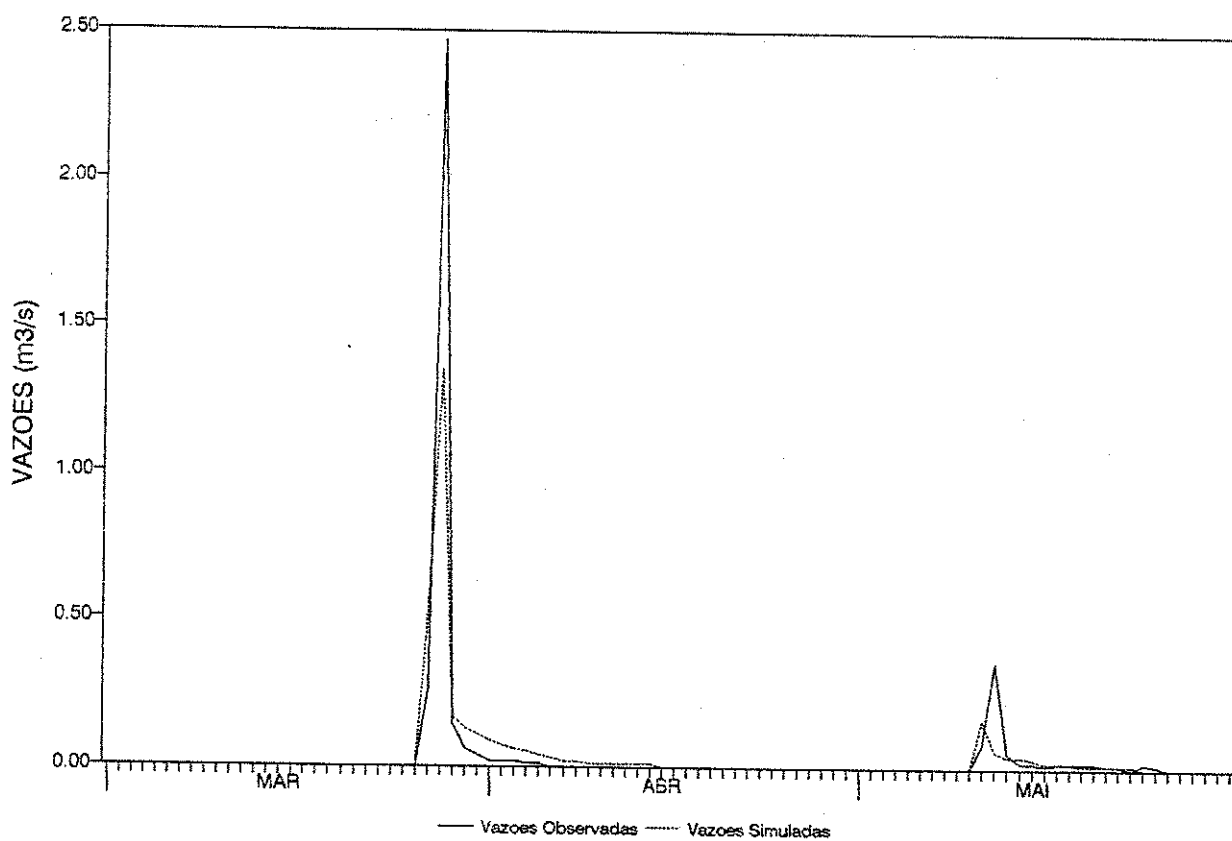


Figura Al.44 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 78/79

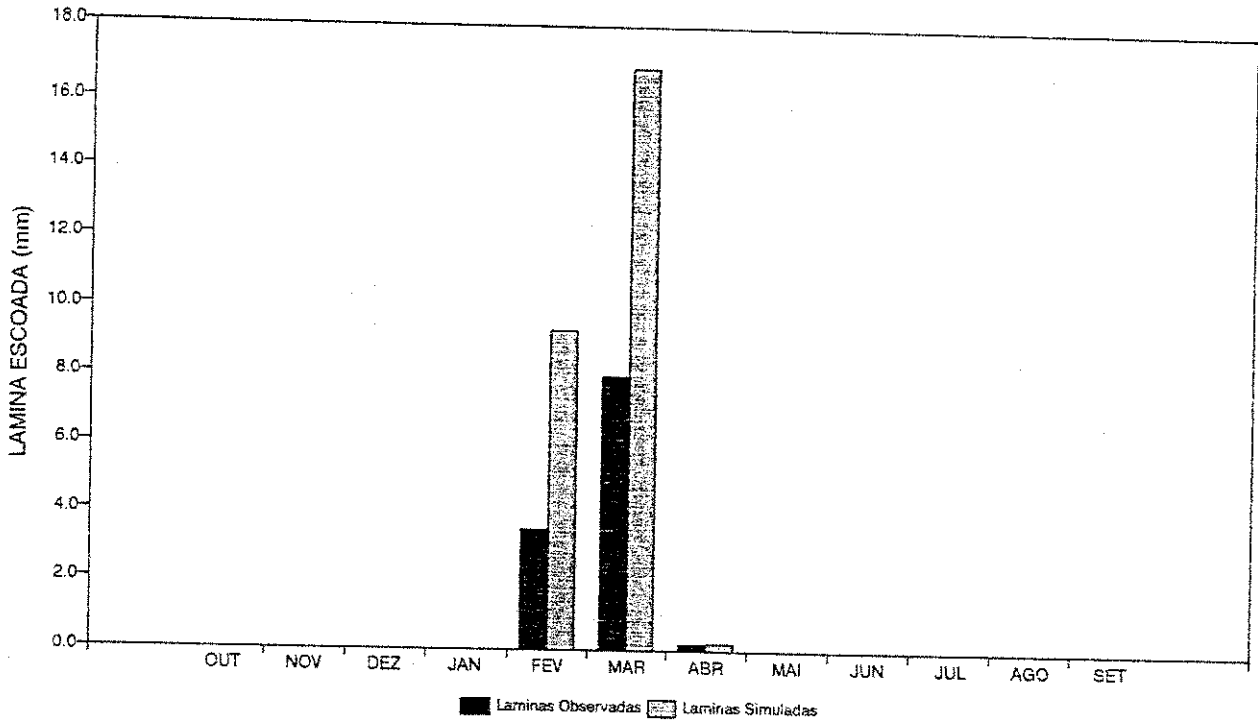


Figura A1.45 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

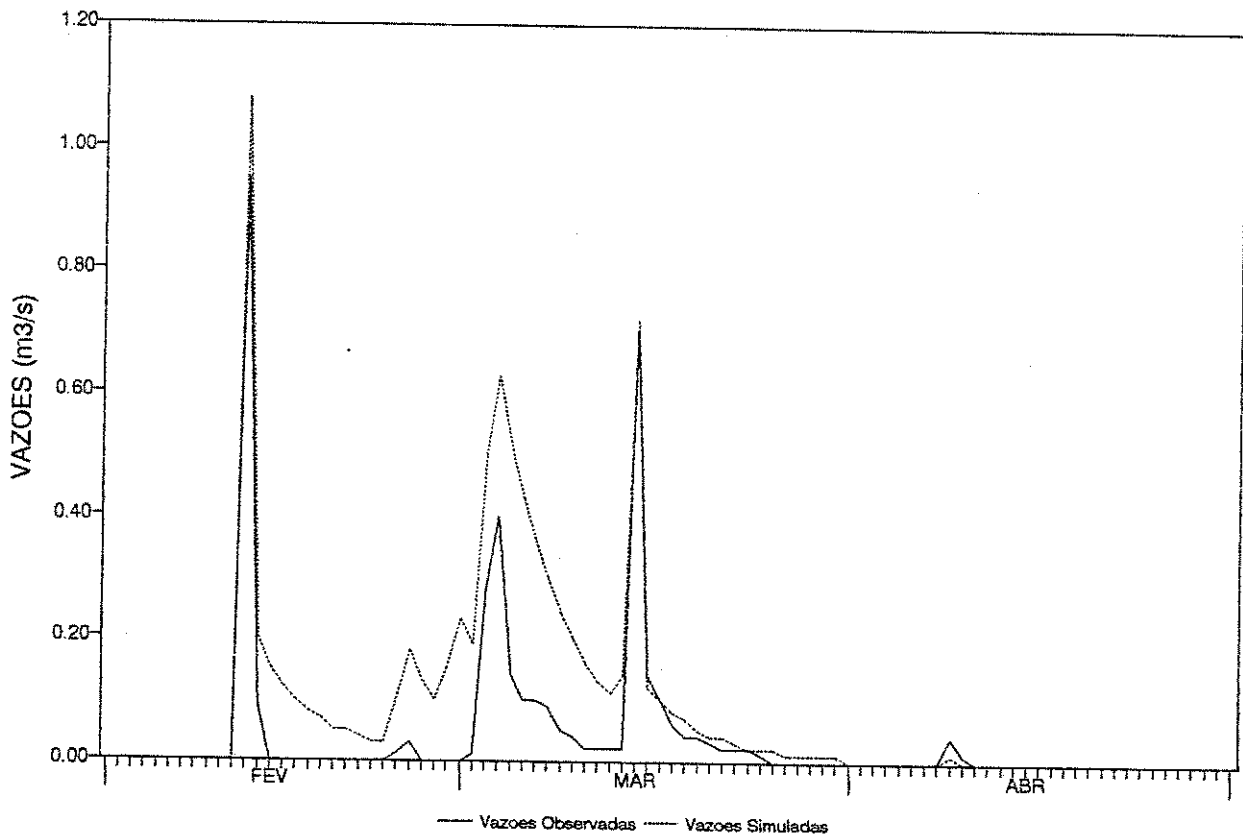


Figura A1.46 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

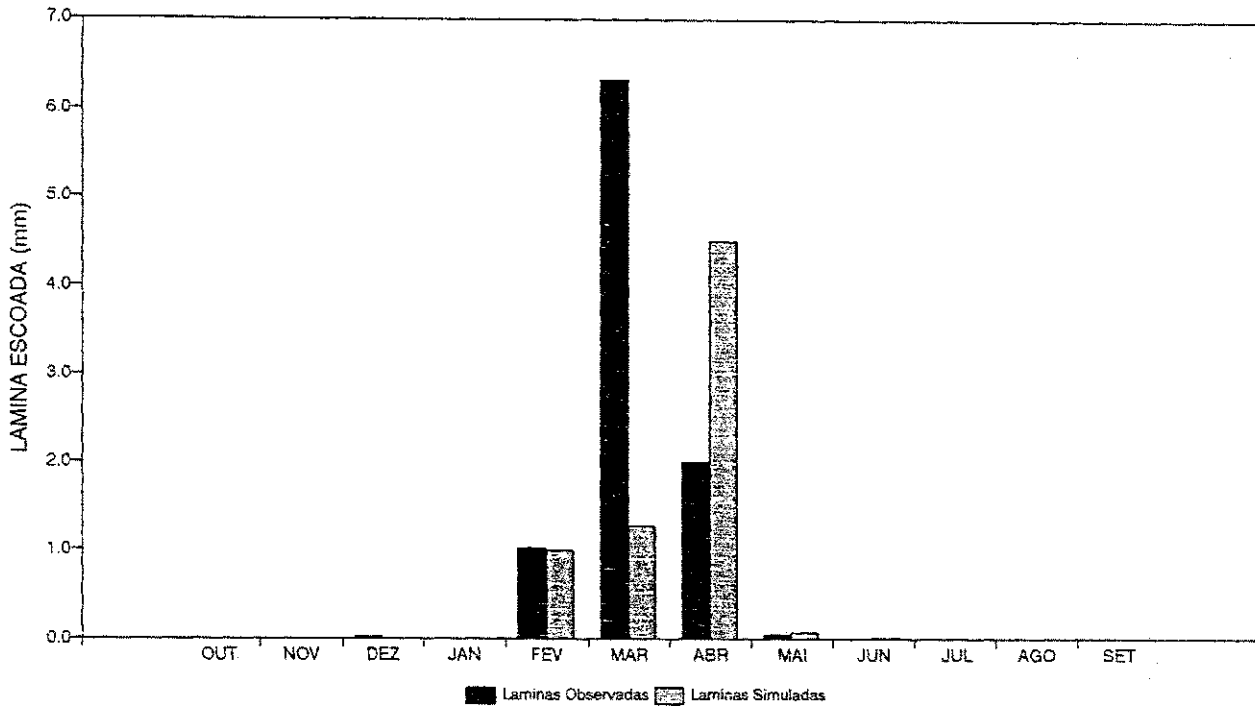


Figura Al.47 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 75/76

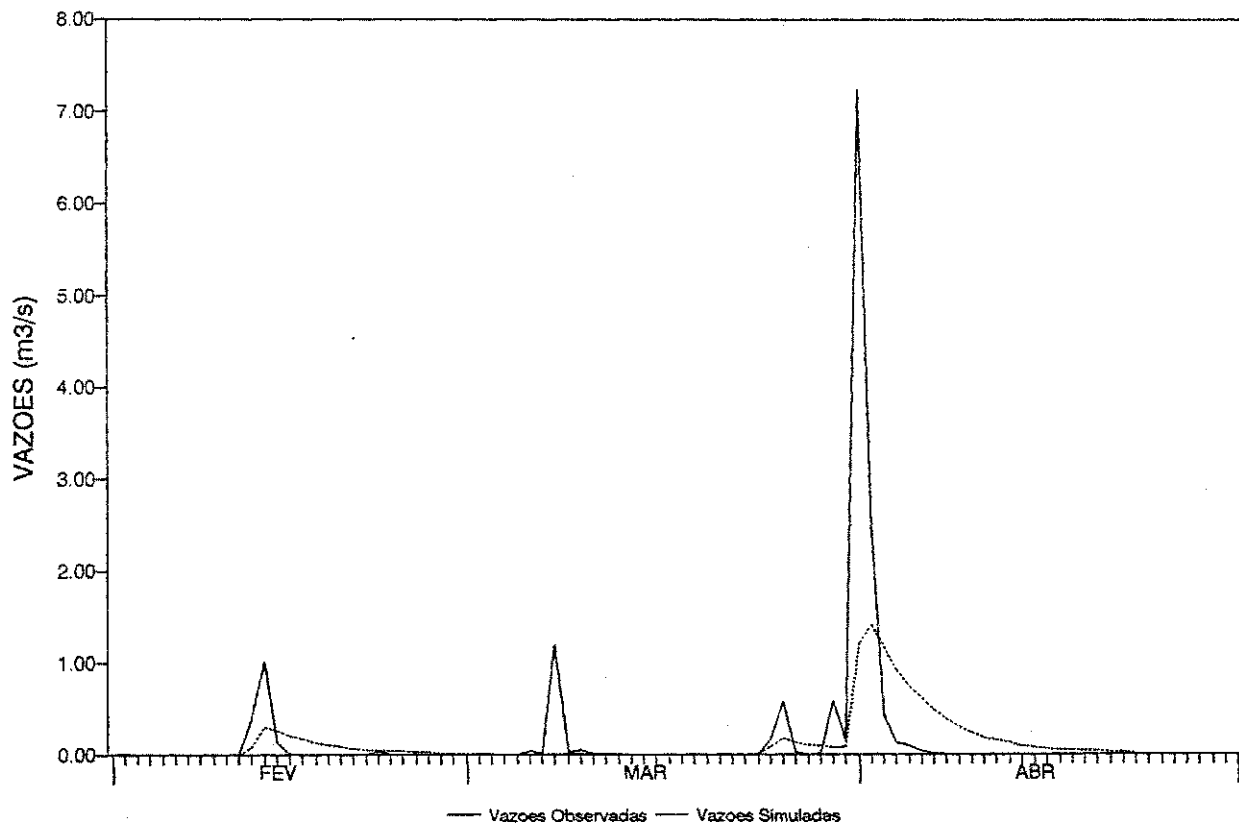


Figura Al.48 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 75/76

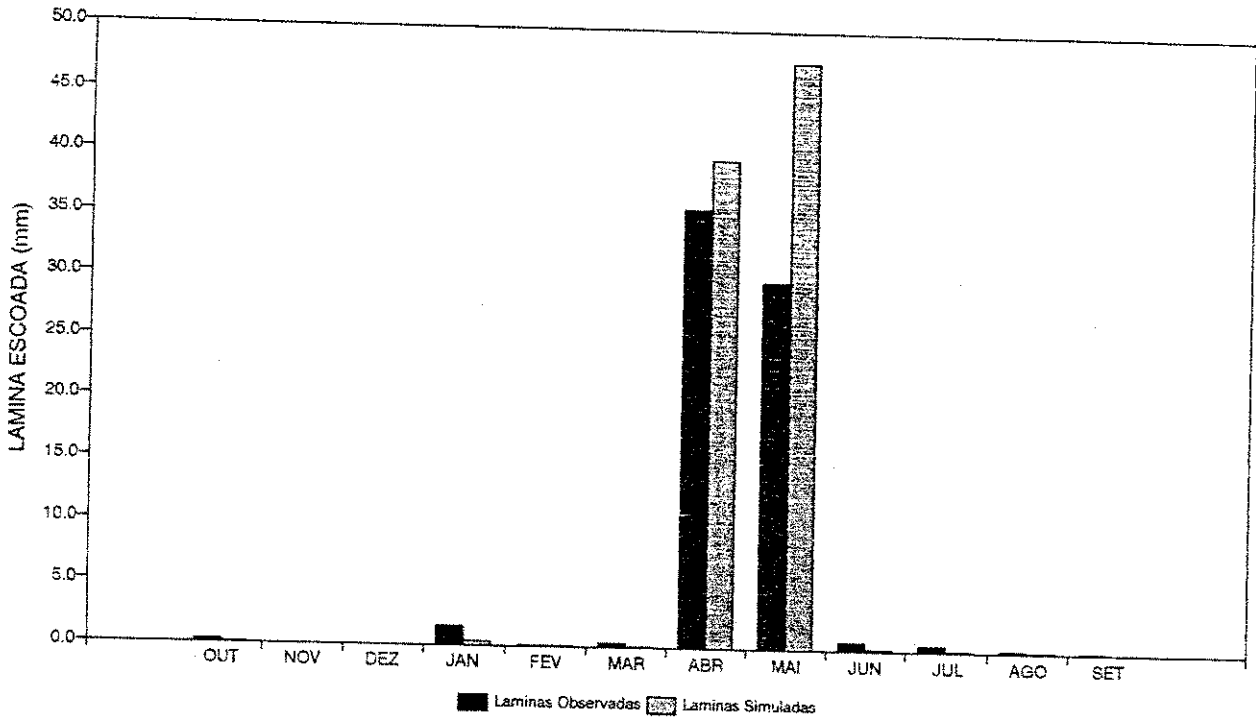


Figura A1.49 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 76/77

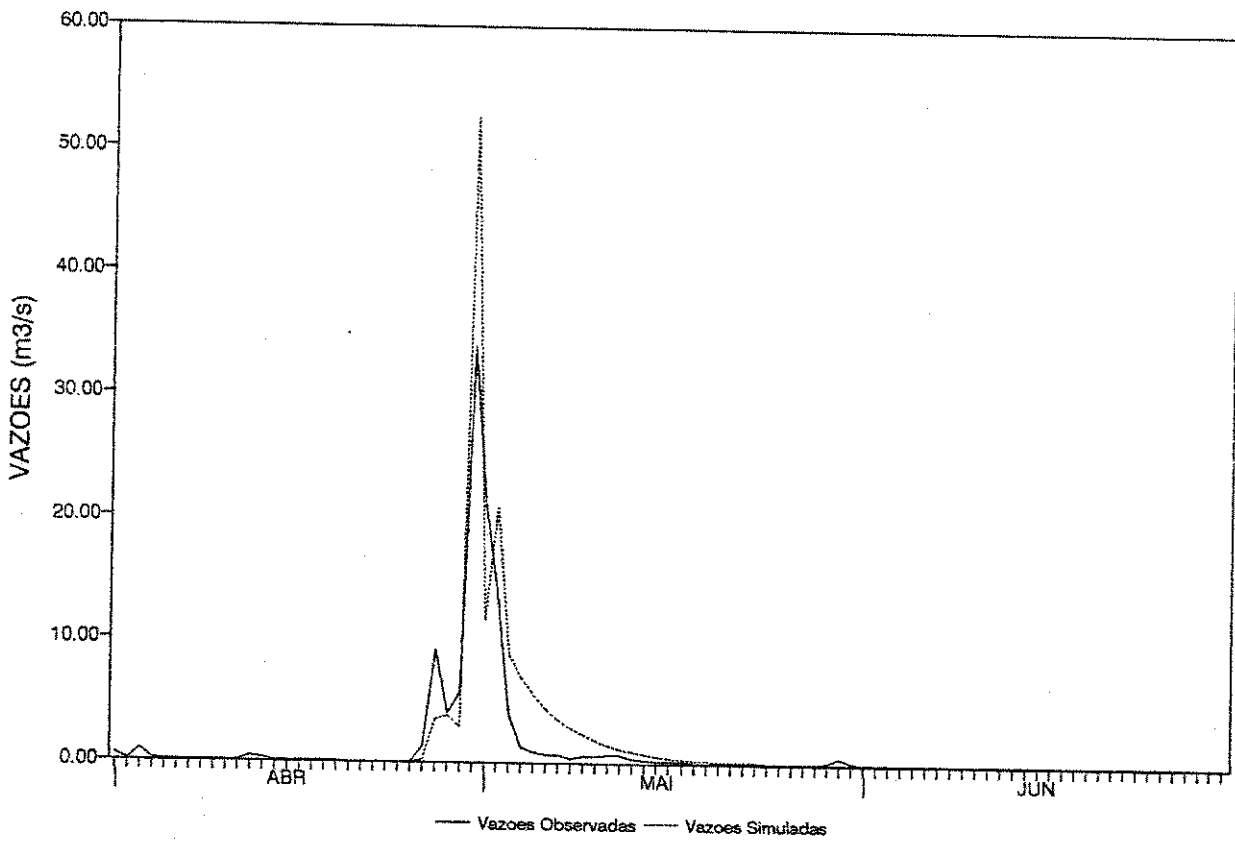


Figura A1.50 - Hidrogramas diários observado e simulado
 Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 76/77

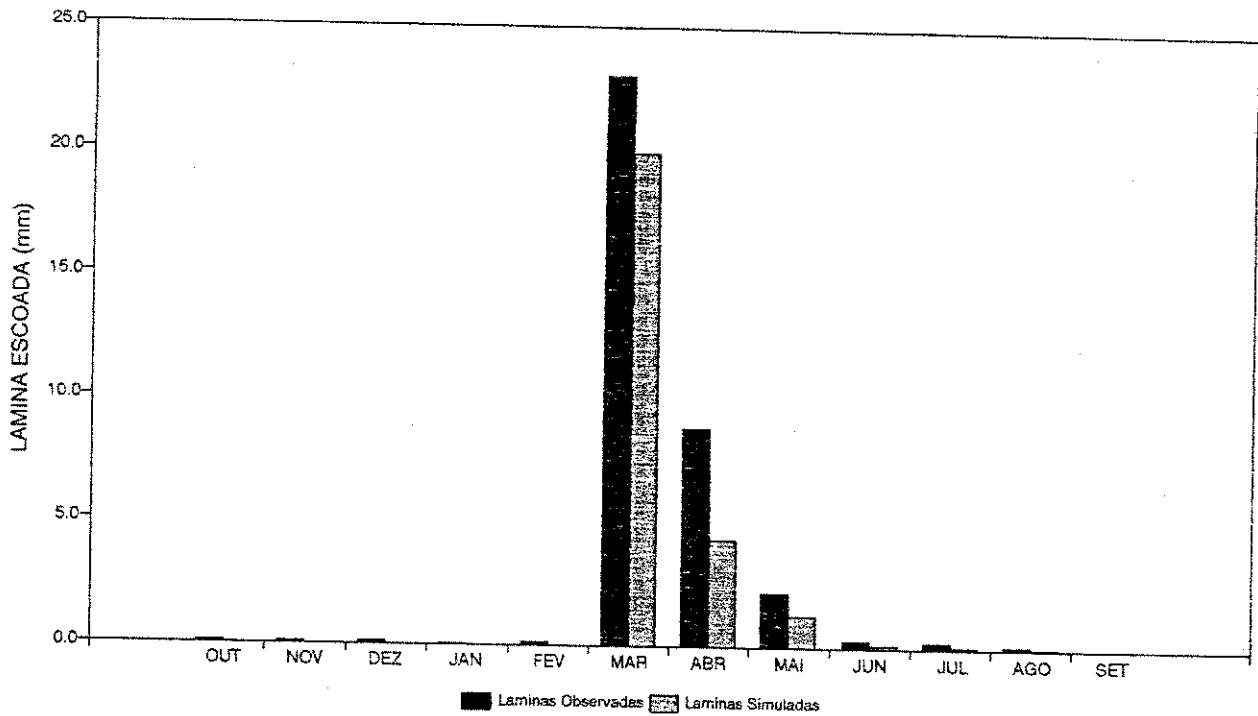


Figura A1.51 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 77/78

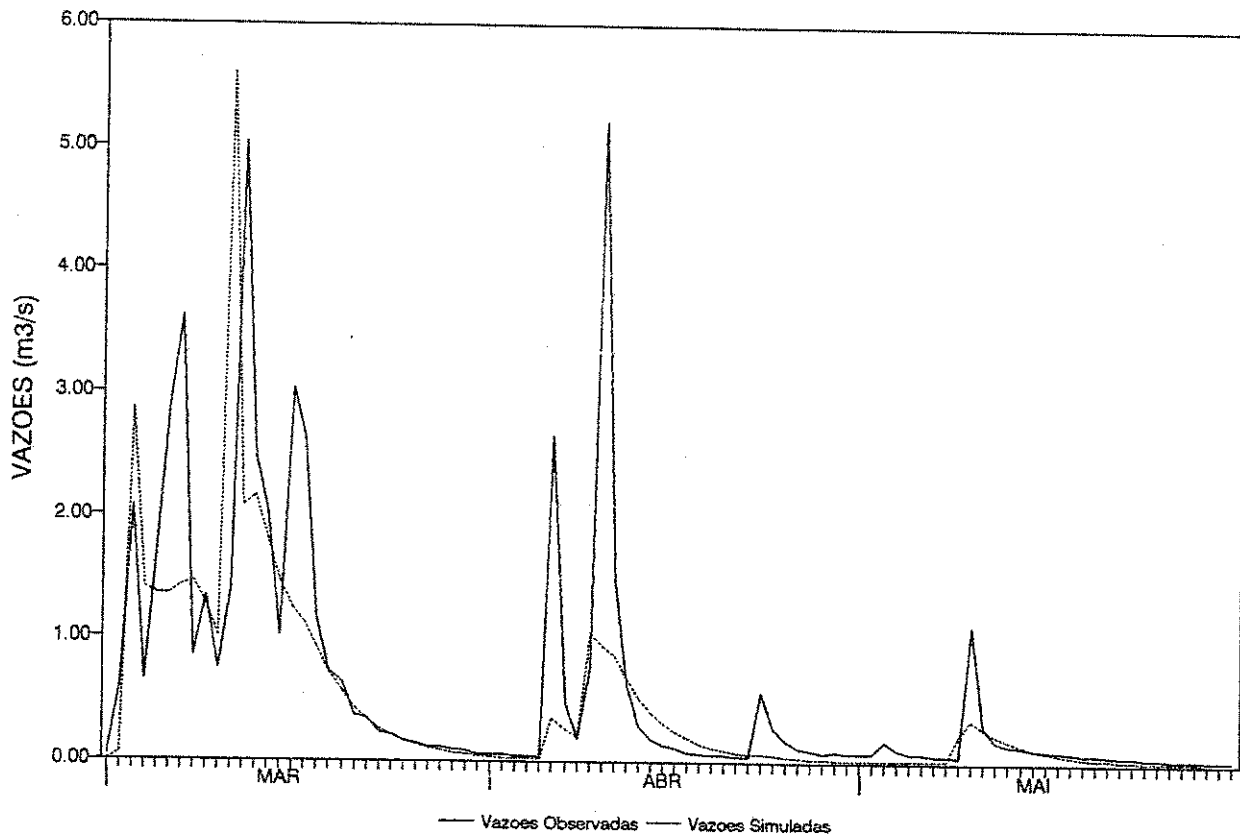


Figura A1.52 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 77/78

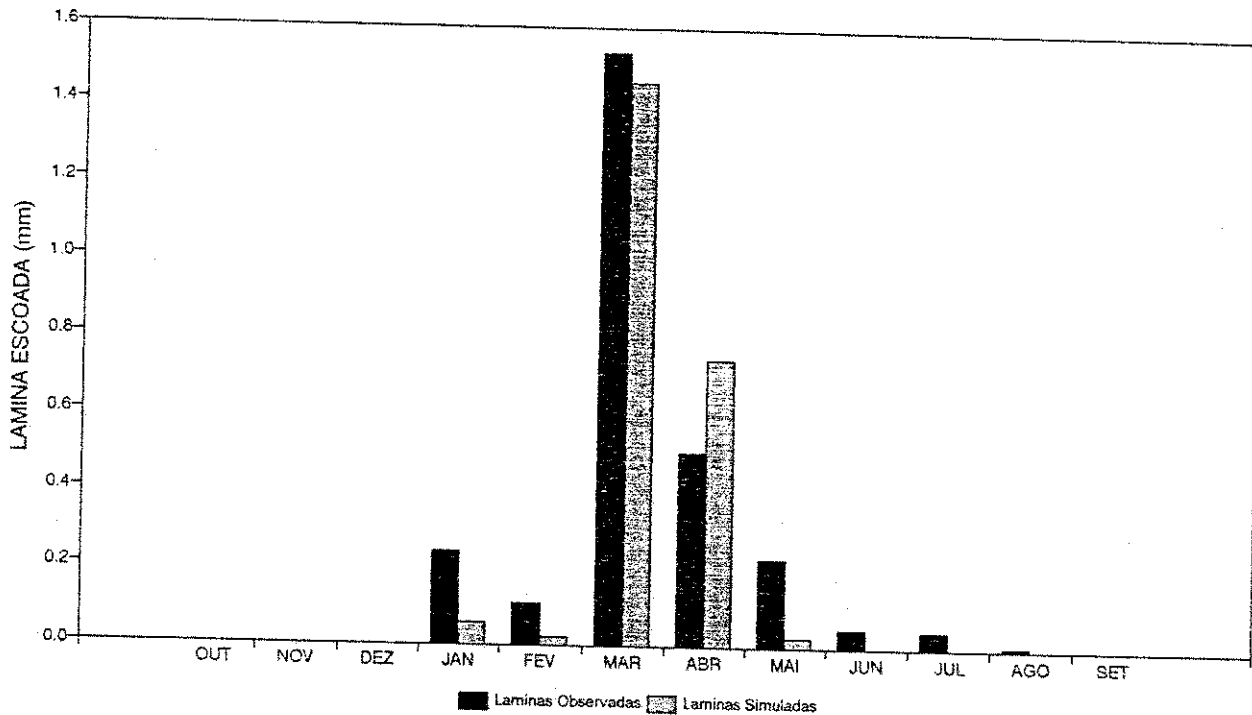


Figura A1.53 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

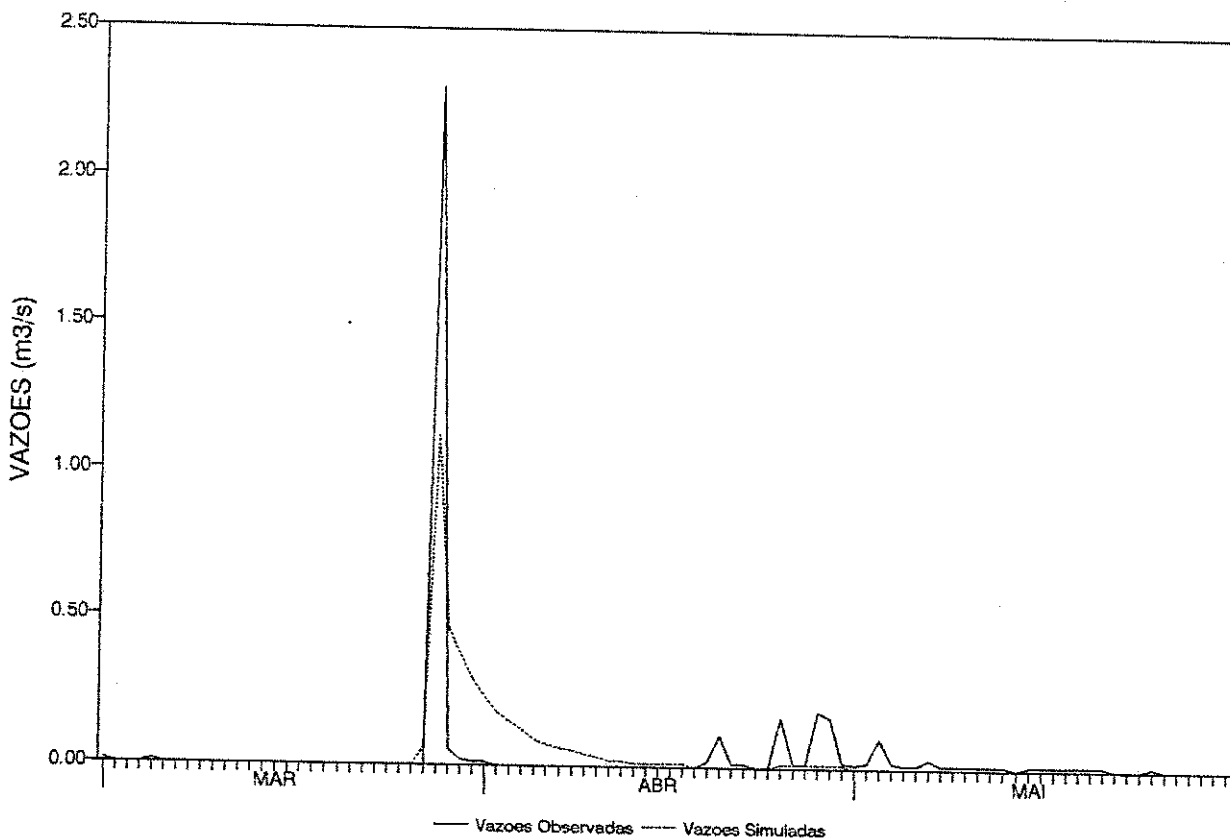


Figura A1.54 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

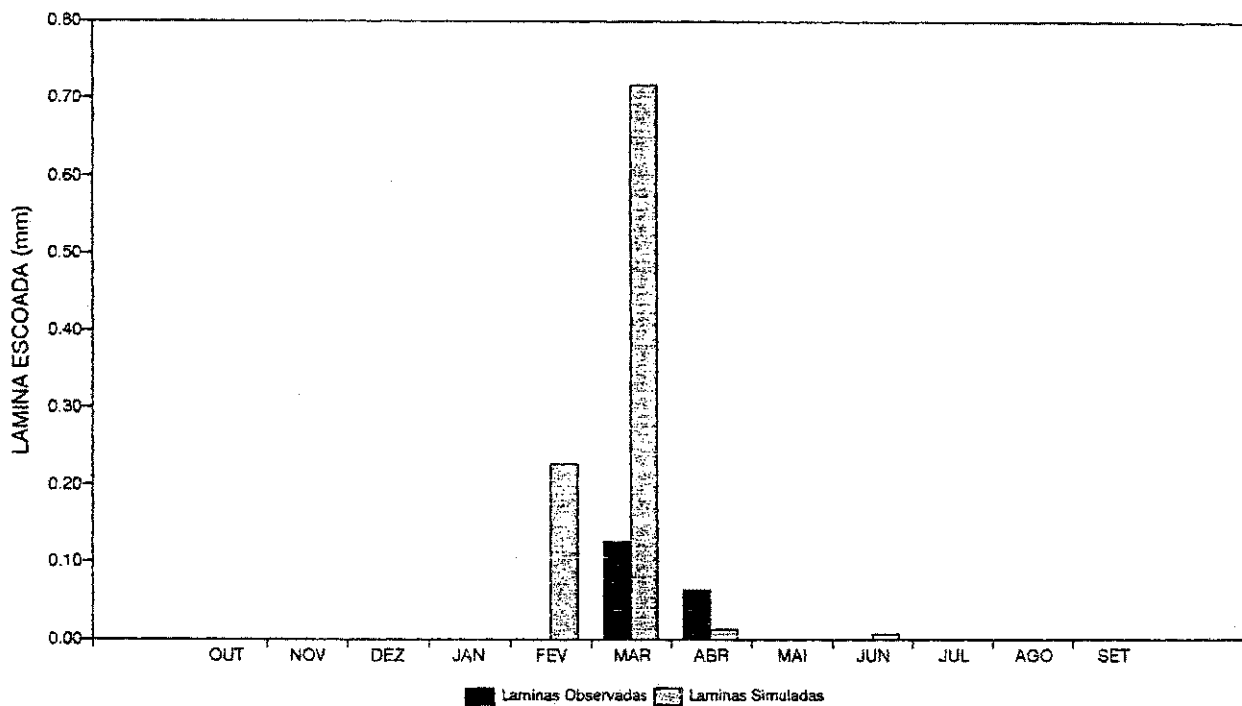


Figura A1.55 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80

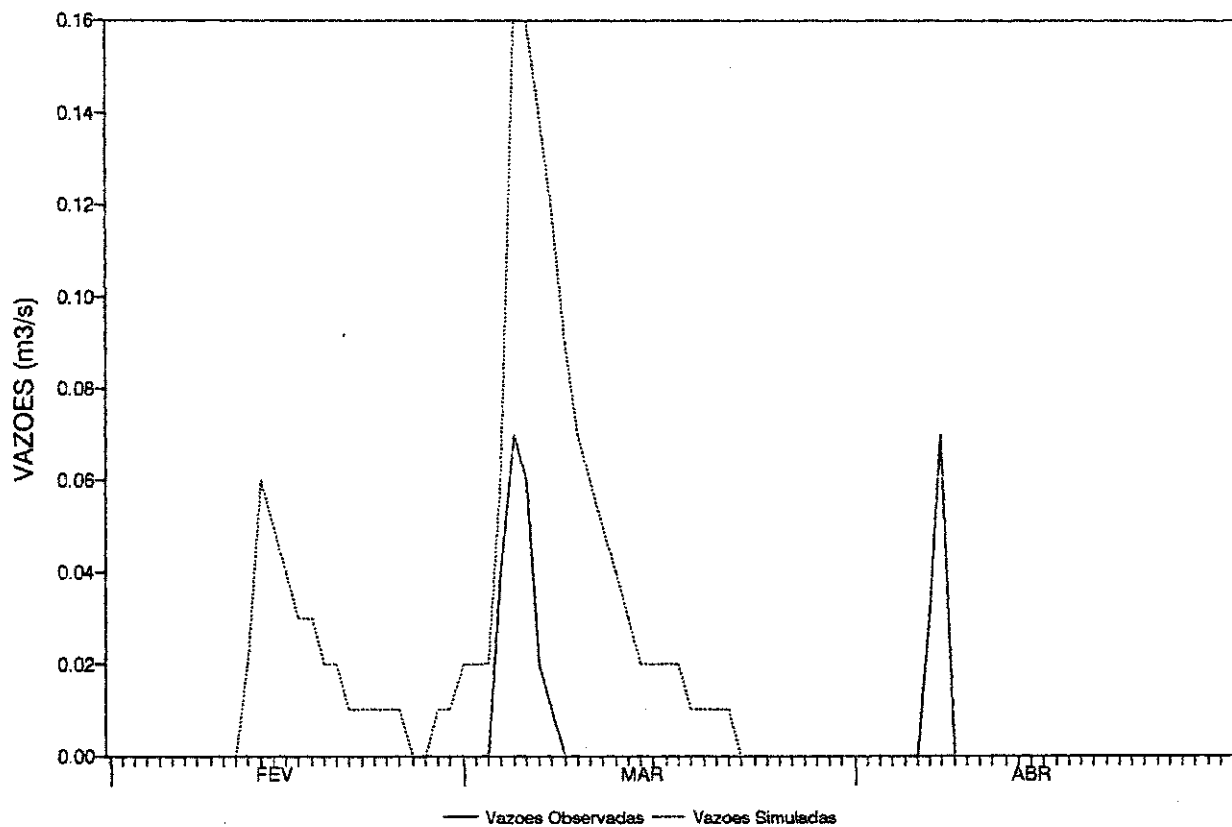


Figura A1.56 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80

ANEXO 2**SIMULAÇÃO NA BACIA DO RIACHO DO NAVIO****1. Simulação com os parâmetros estimados ano a ano:**

.Histogramas de lâminas médias escoadas e hidrogramas diários
observados e simulados..... Figuras A2.1 a A2.24

2. Simulação com os valores médios dos parâmetros:

.Histogramas de lâminas médias escoadas e hidrogramas diários
observados e simulados..... Figuras A2.25 a A2.48

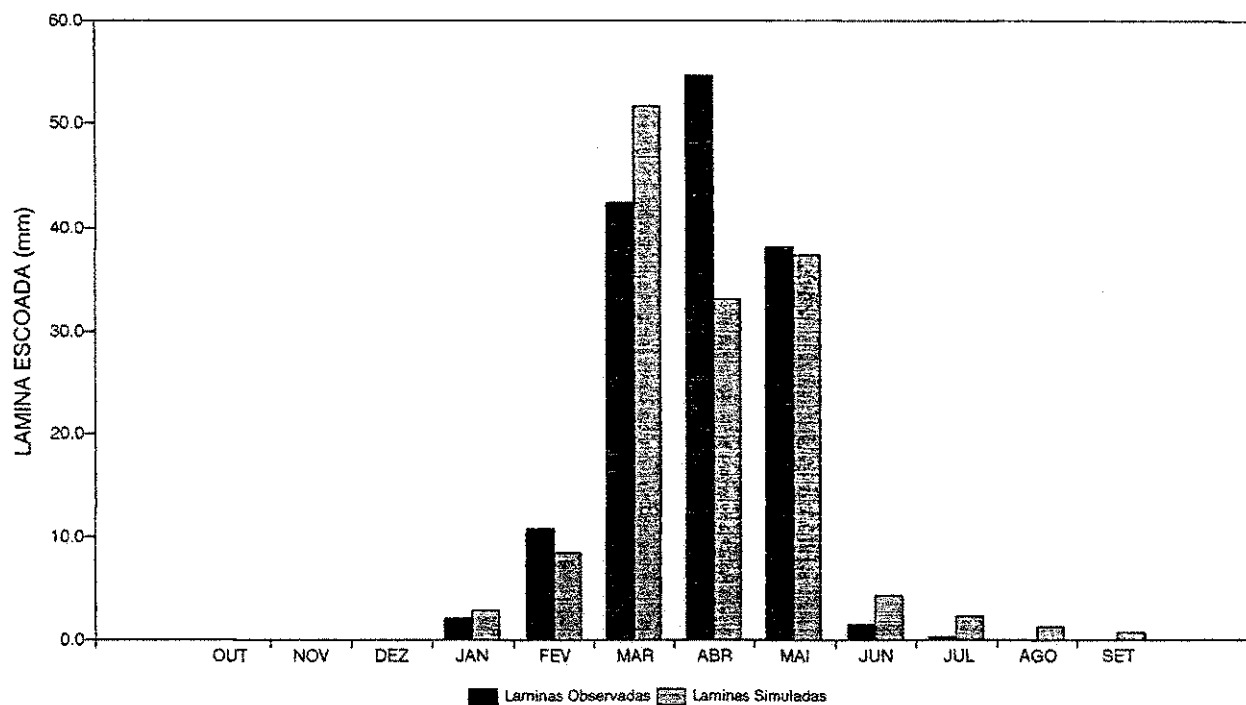


Figura A2.1 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 73/74

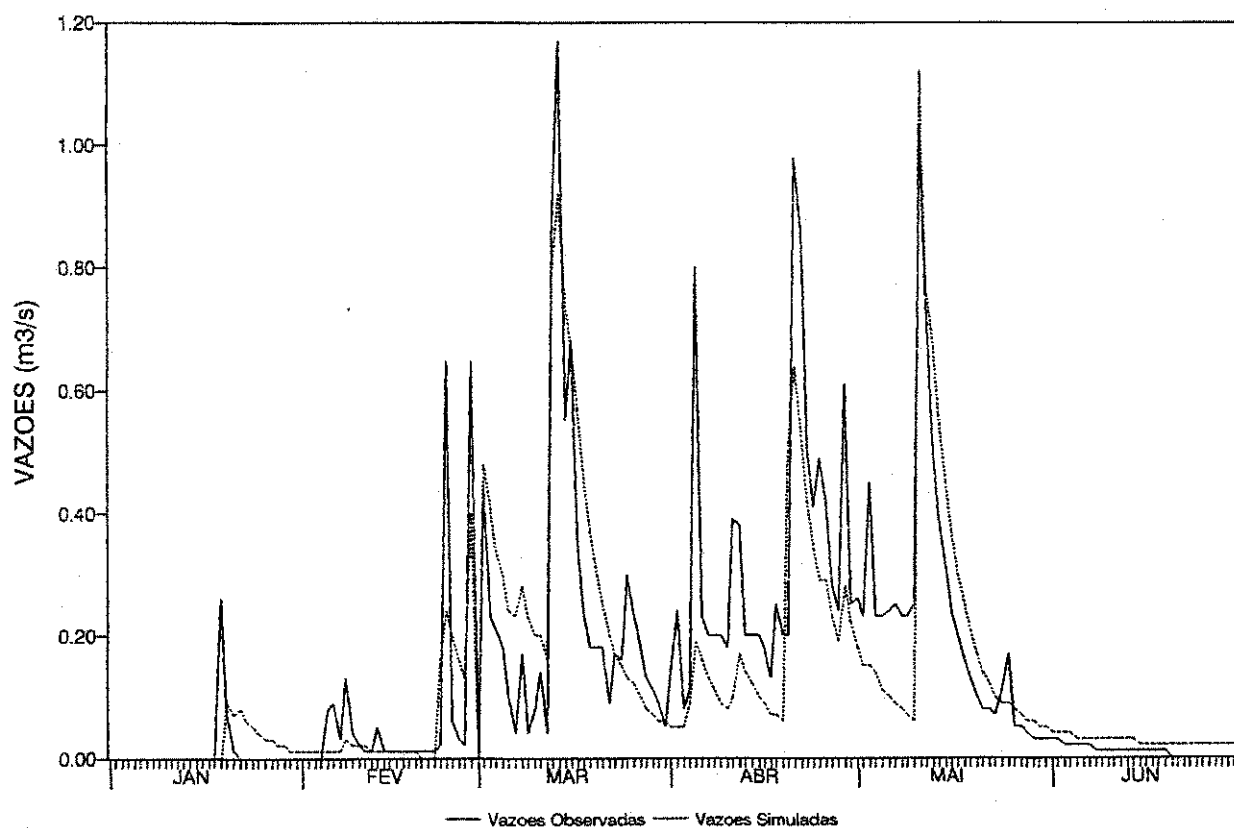


Figura A2.2 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 73/74

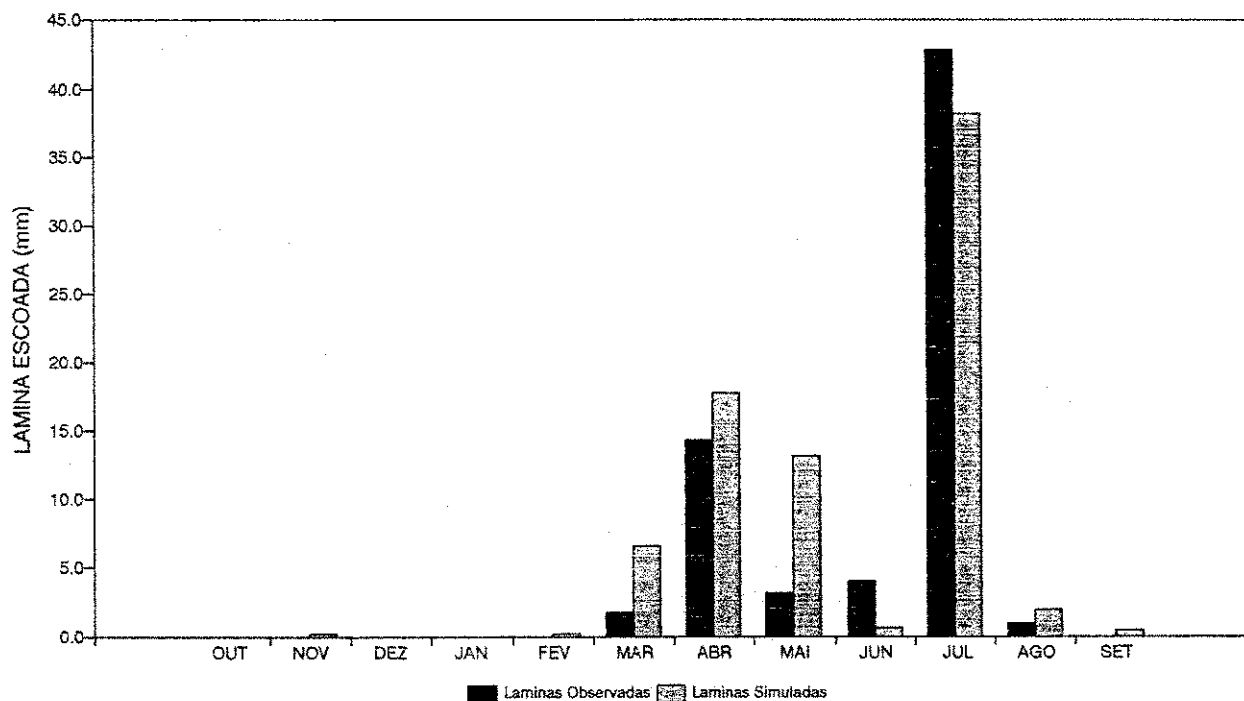


Figura A2.3 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75

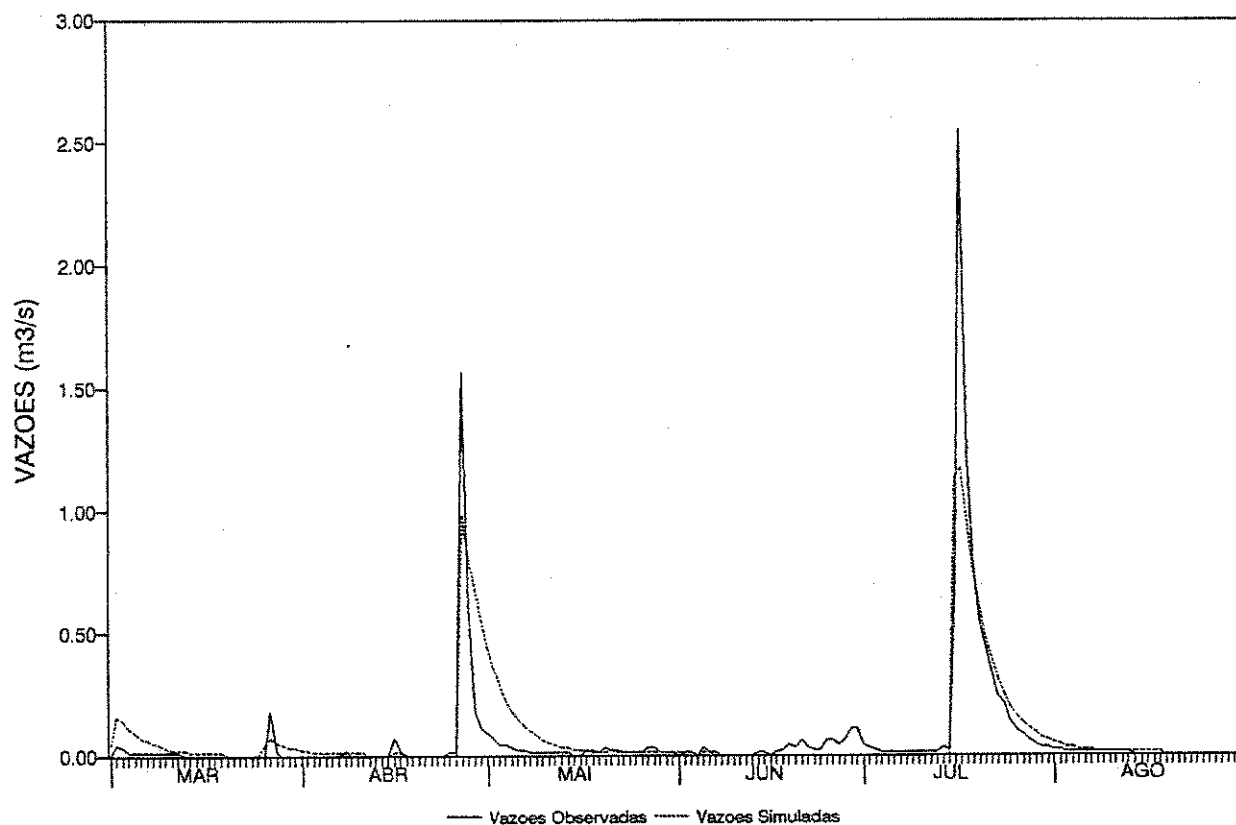


Figura A2.4 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75

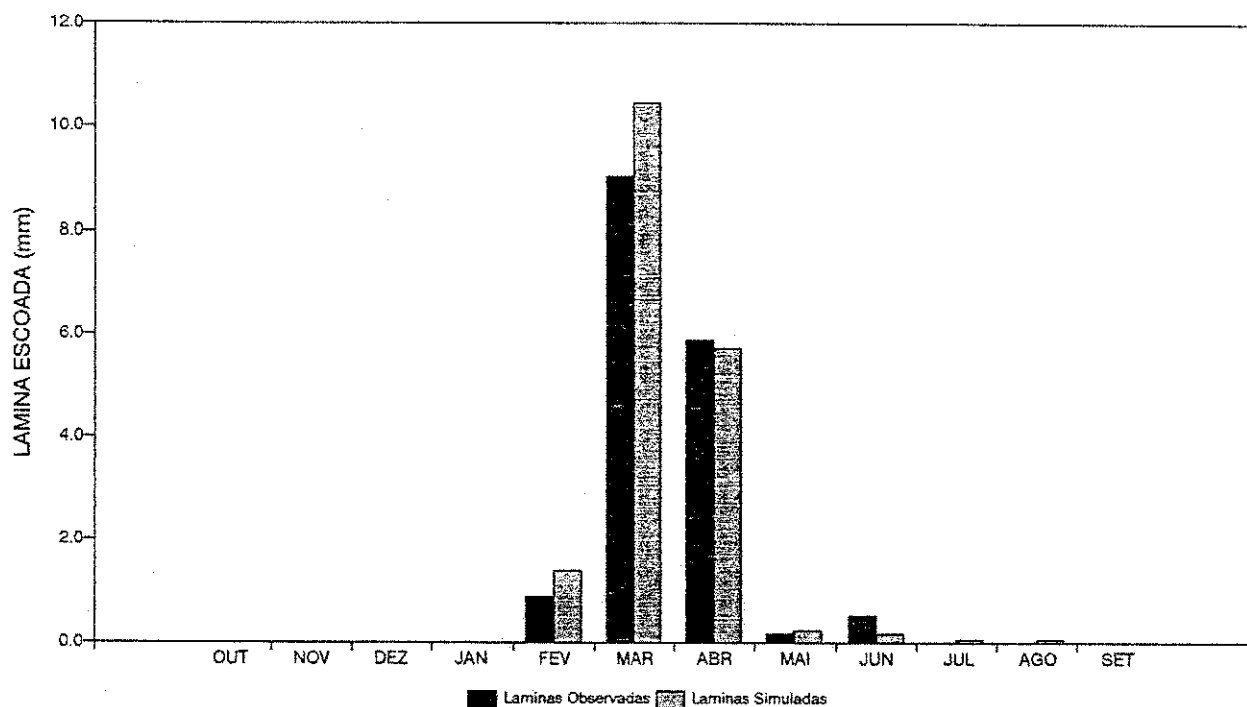


Figura A2.5 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 75/76

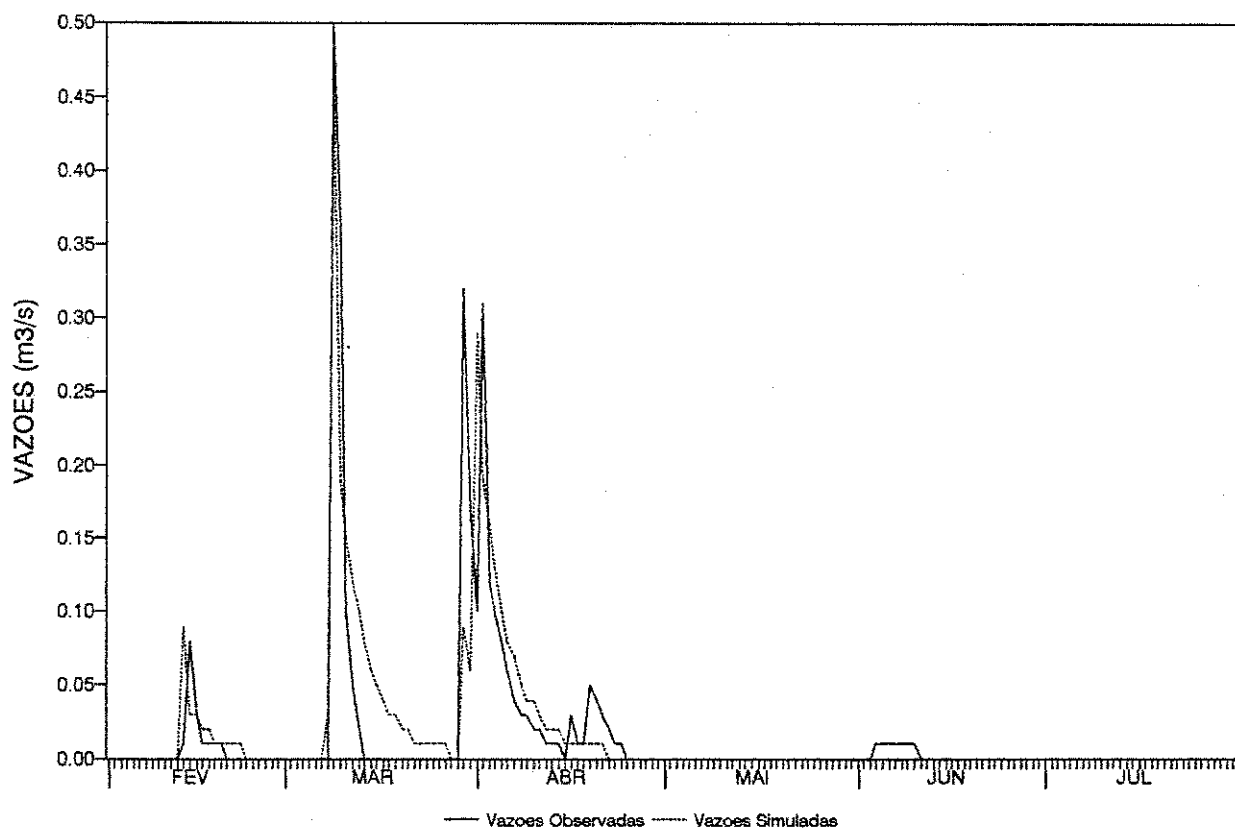


Figura A2.6 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 75/76

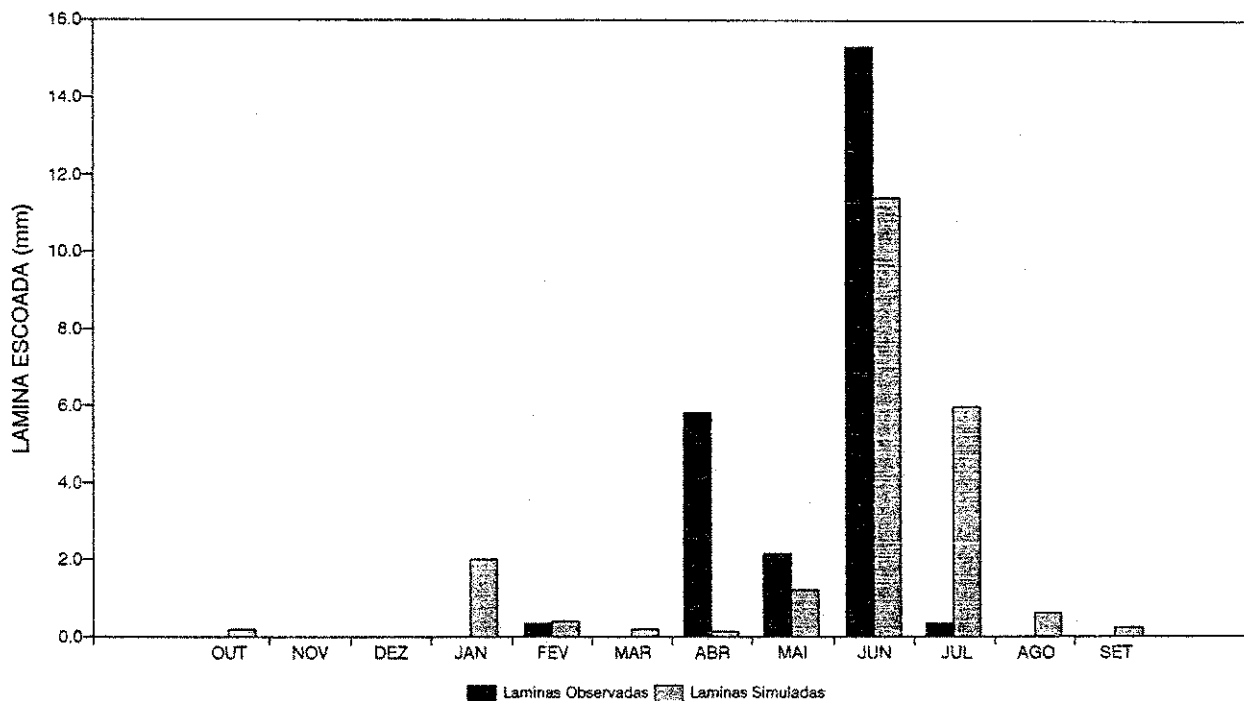


Figura A2.7 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 76/77

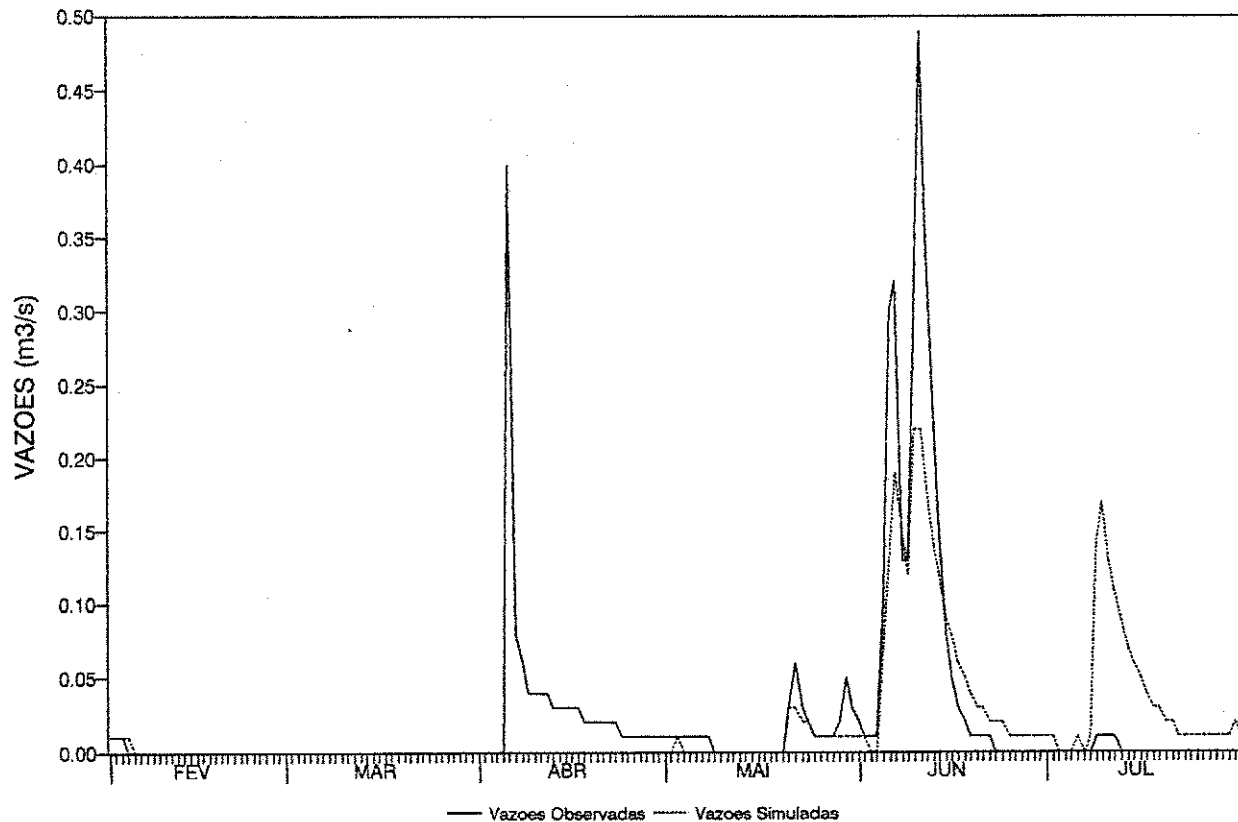


Figura A2.8 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Salobro - Ano: 76/77

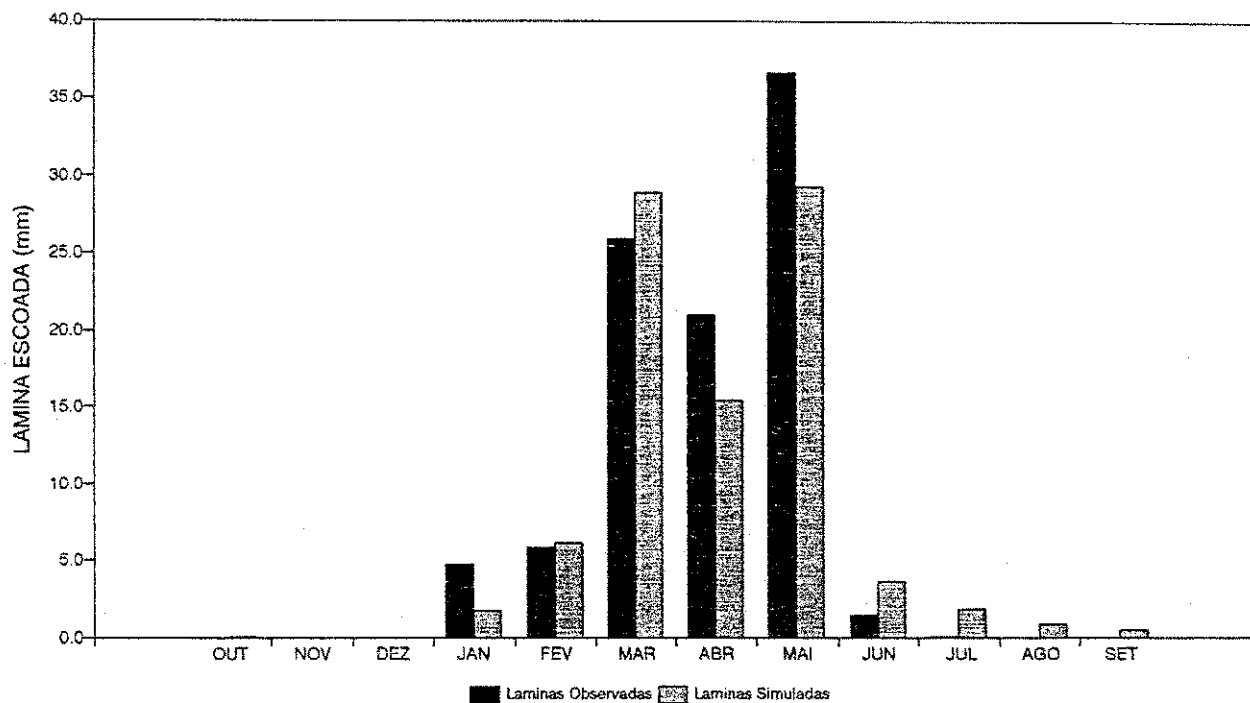


Figura A2.9 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 73/74

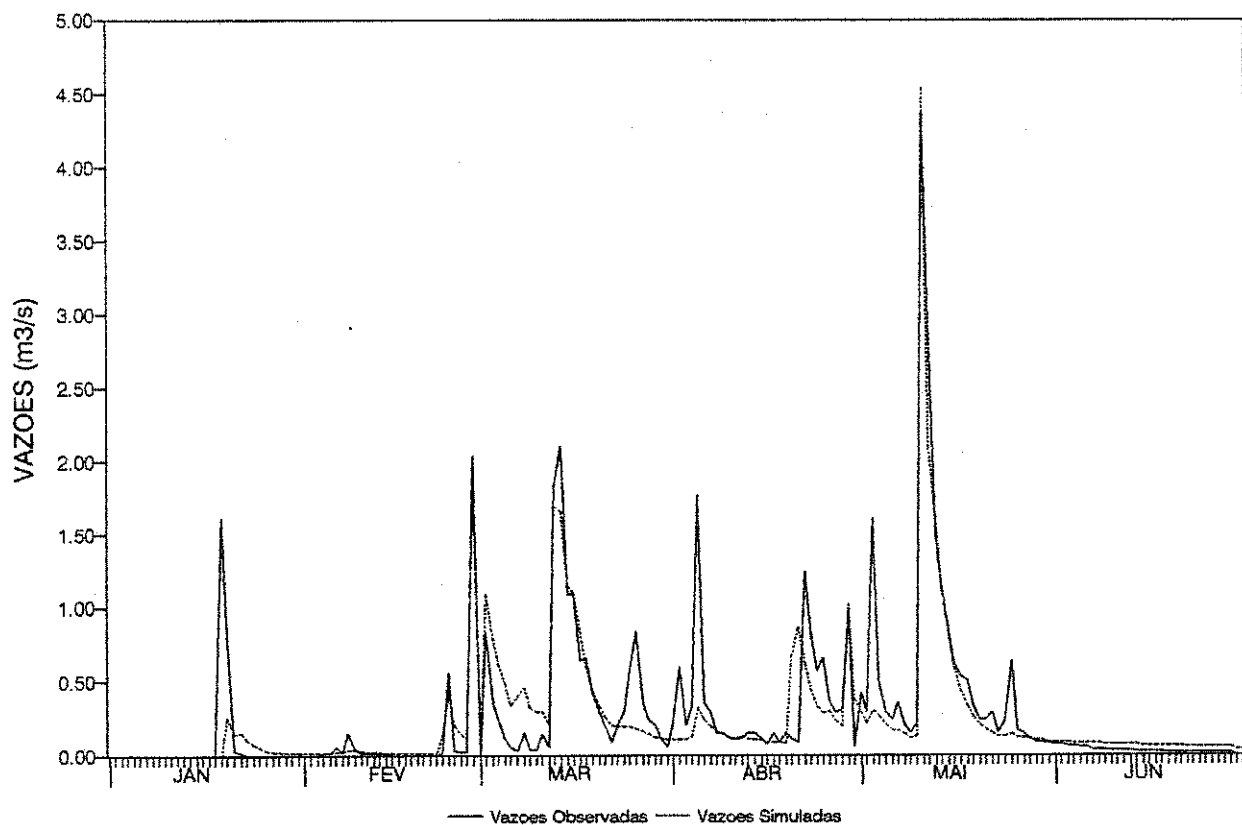


Figura A2.10 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 73/74

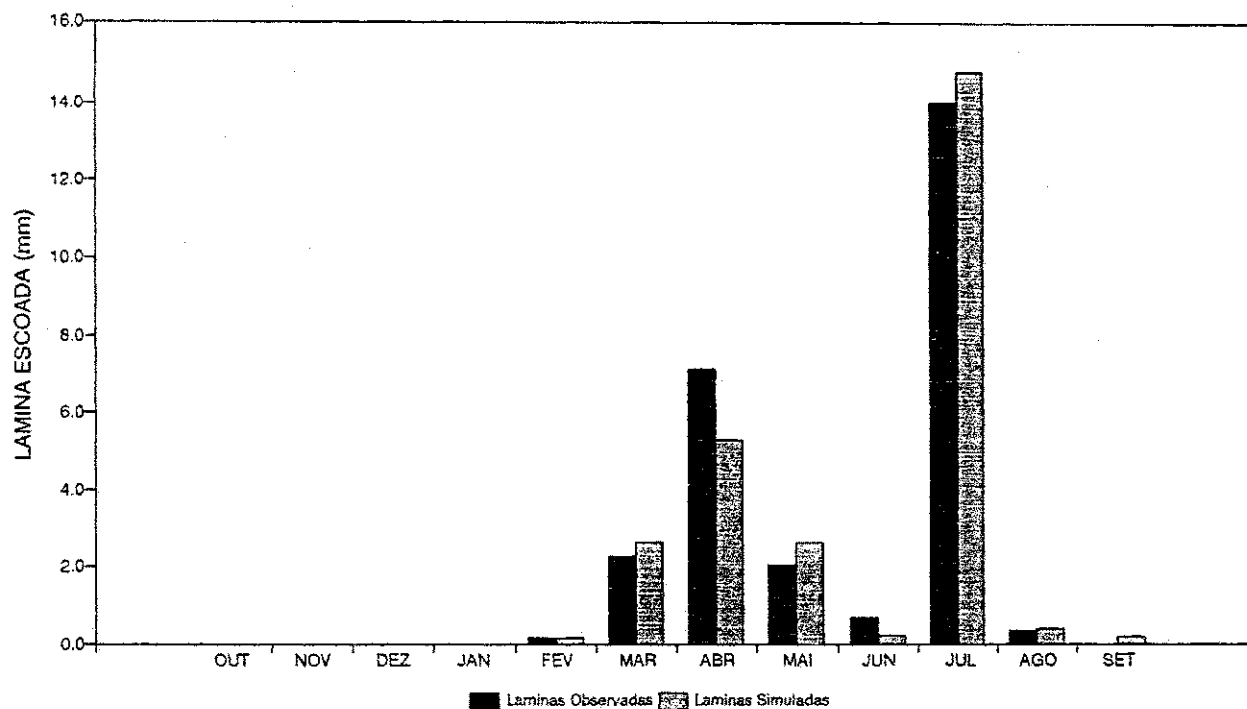


Figura A2.11 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 74/75

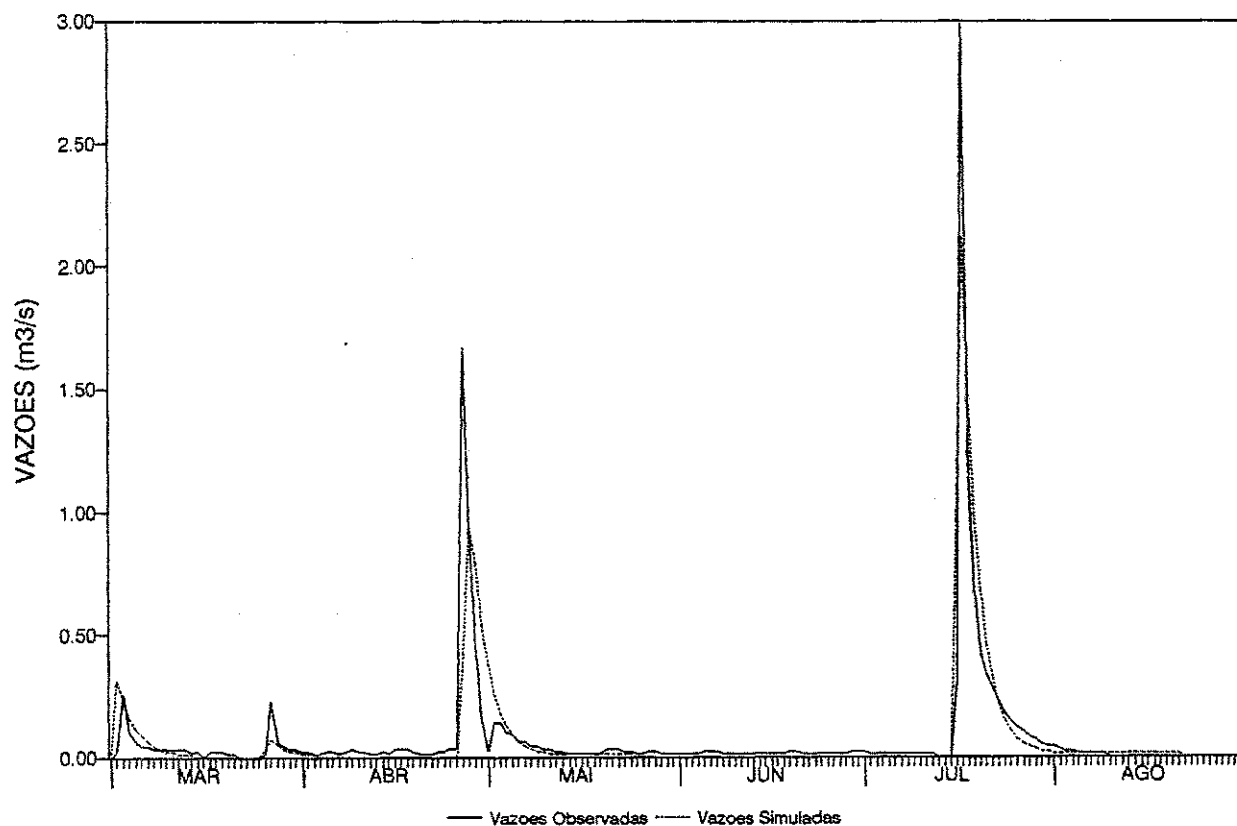


Figura A2.12 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 74/75

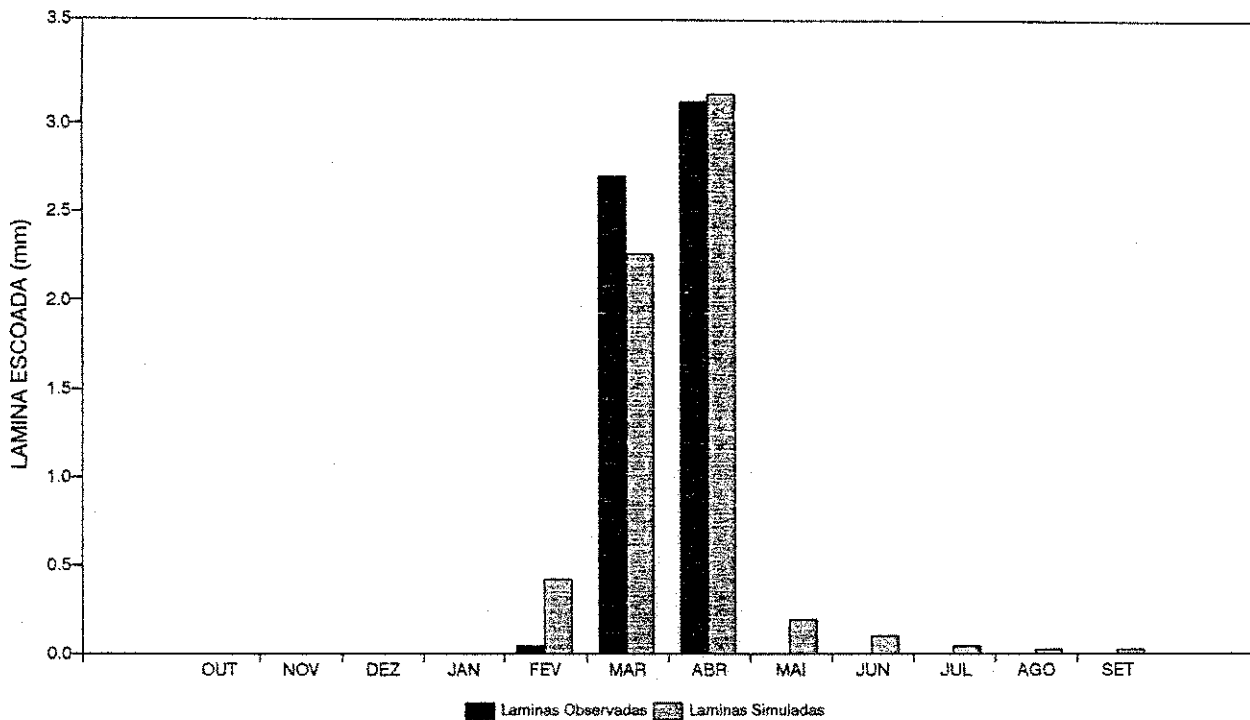


Figura A2.13 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 75/76

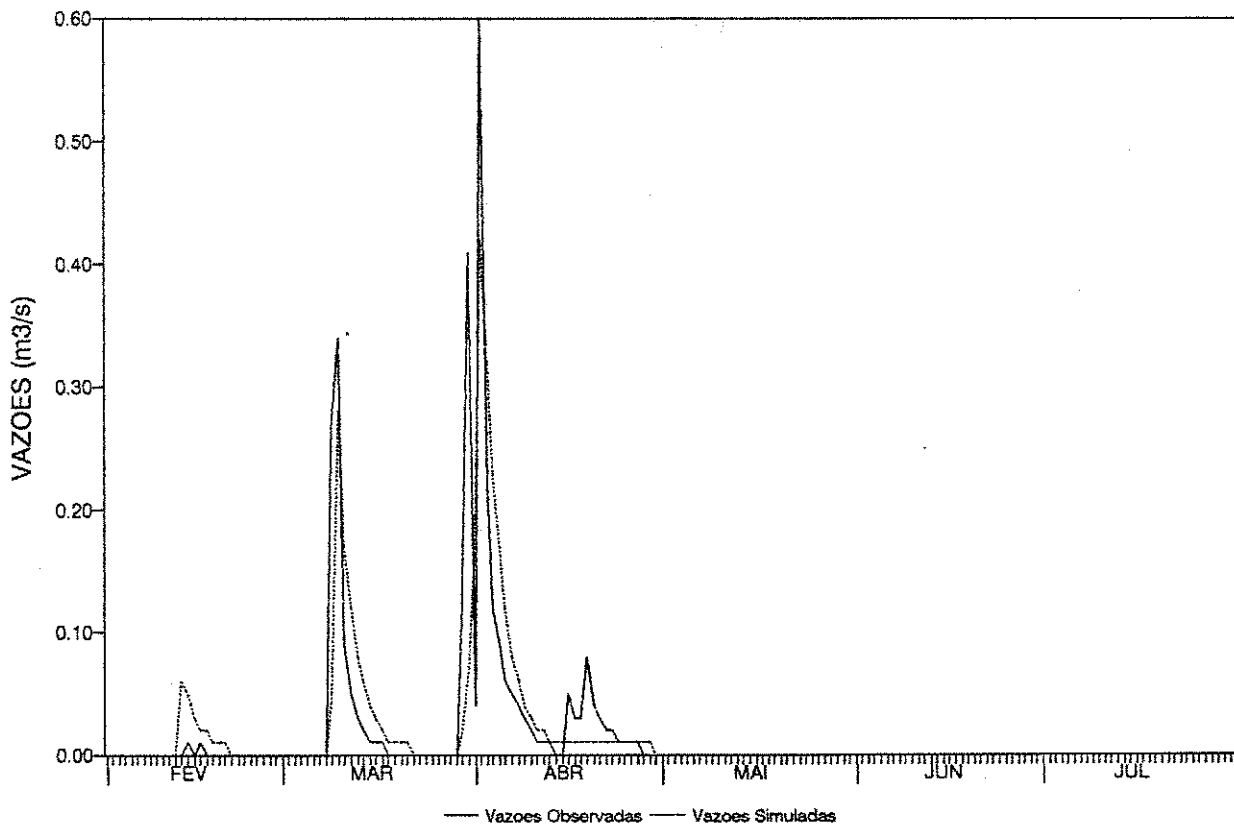


Figura A2.14 - Hidrogramas diários observado e simulado
 Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 75/76

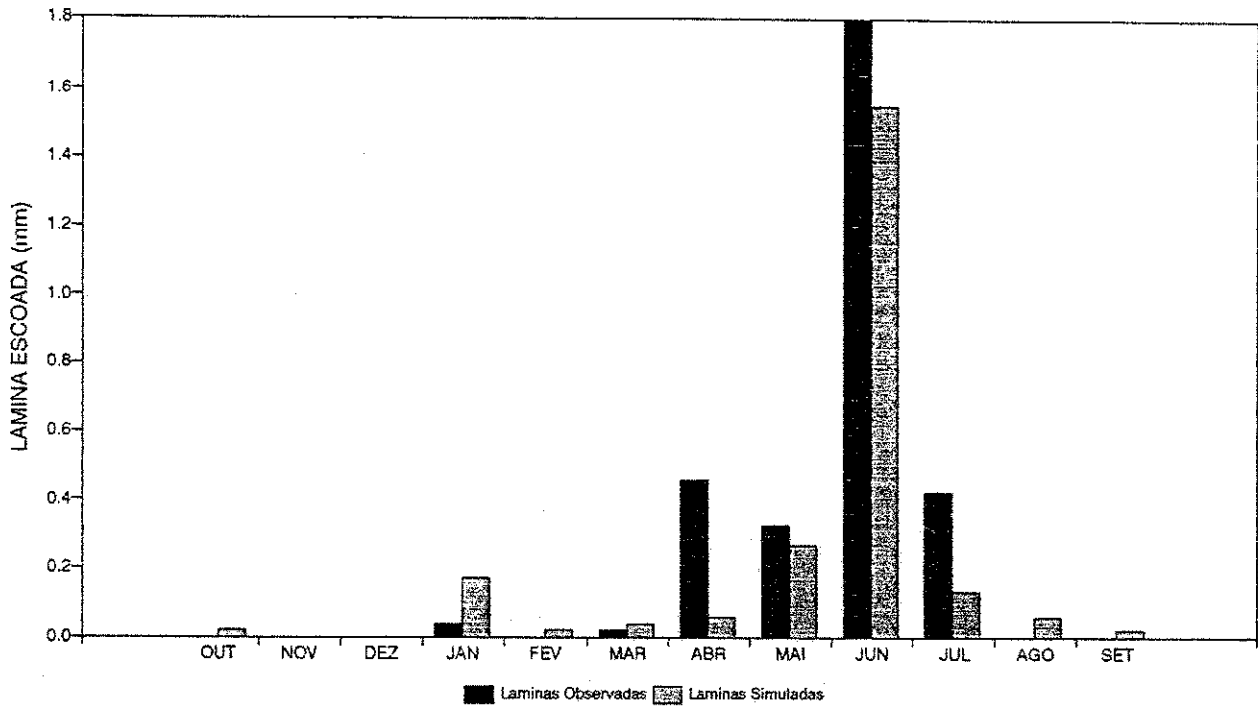


Figura A2.15 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 76/77

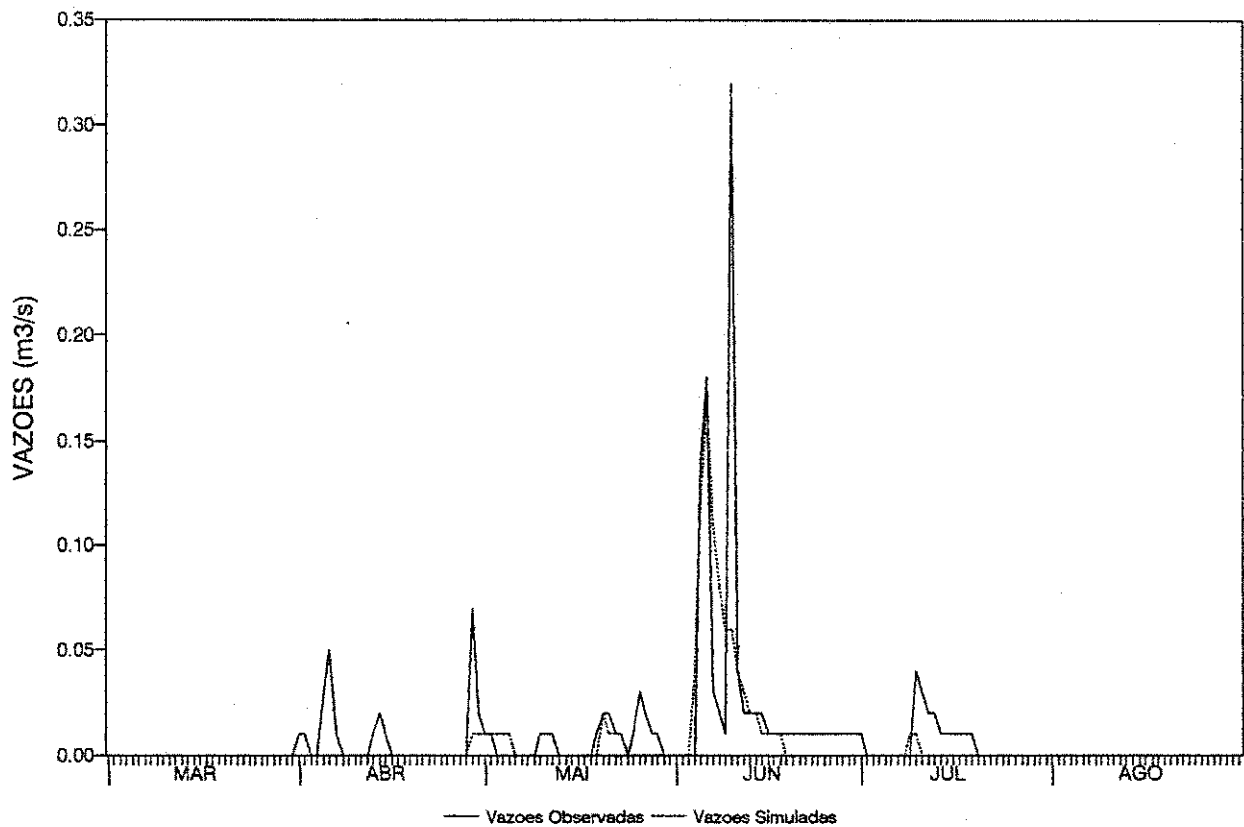


Figura A2.16 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 76/77

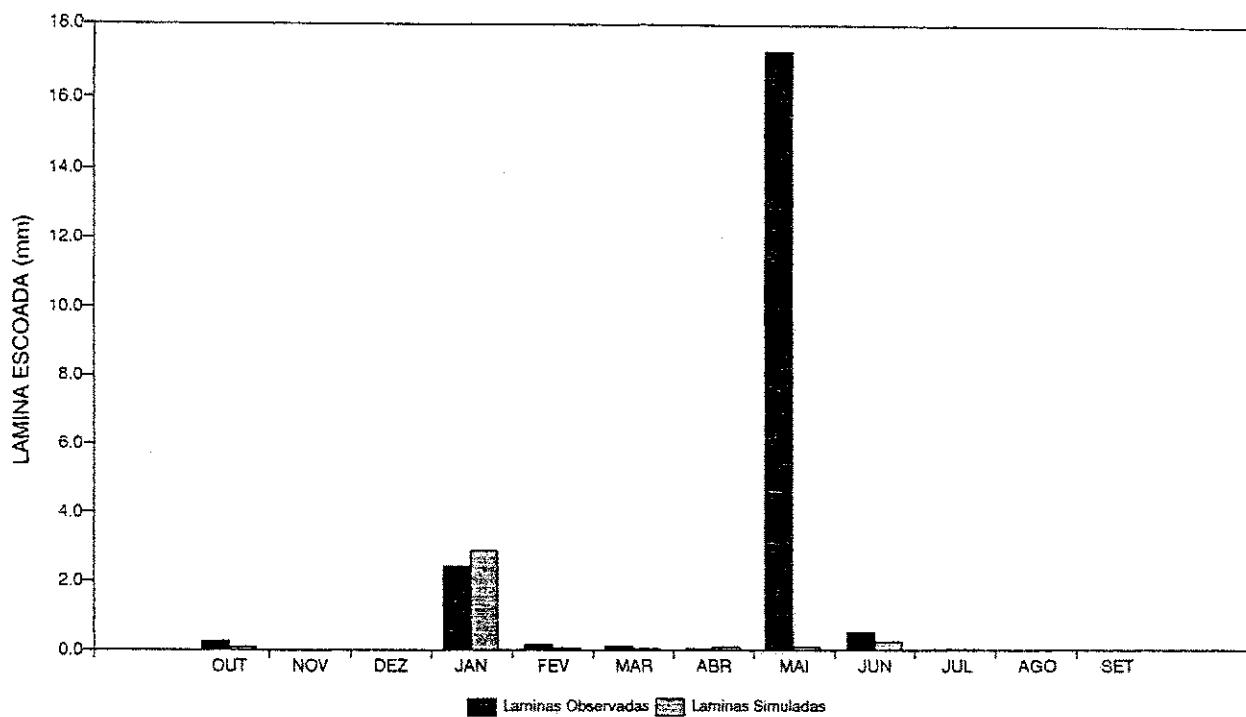


Figura A2.17 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 73/74

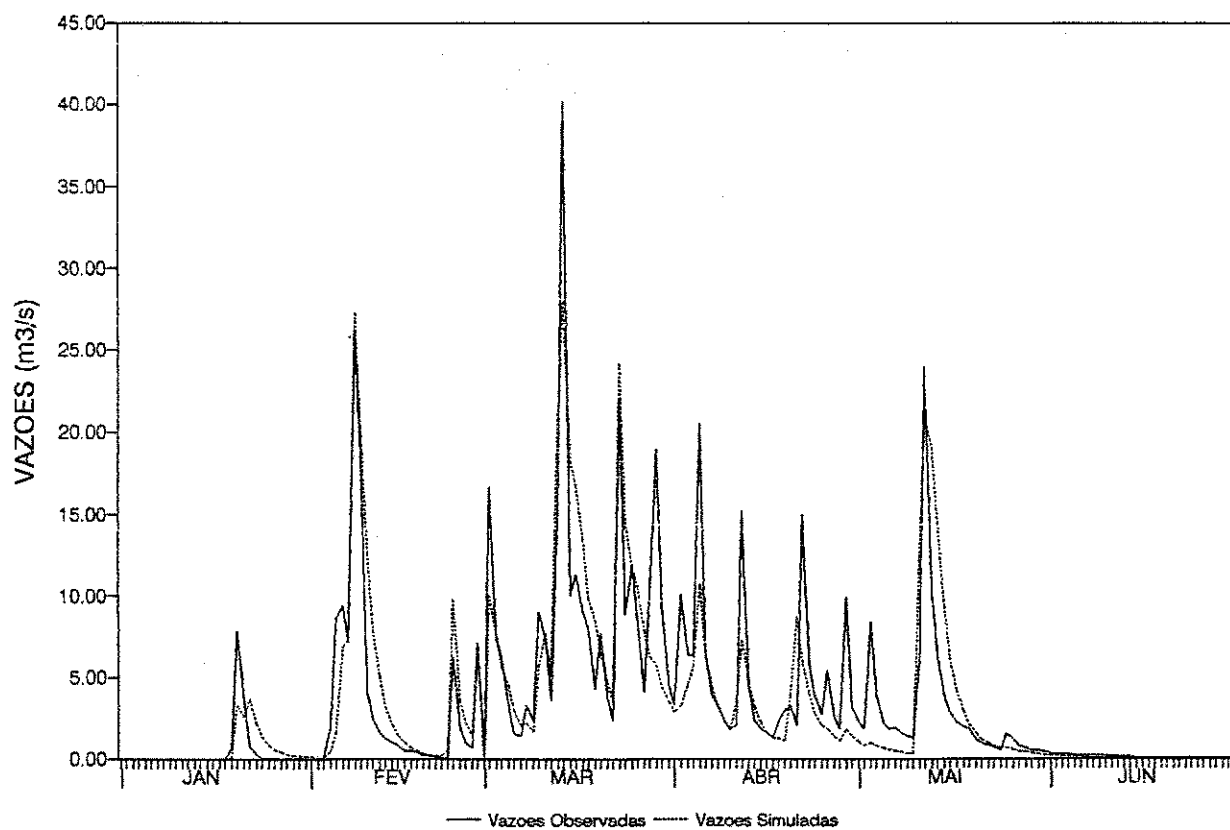


Figura A2.18 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 73/74

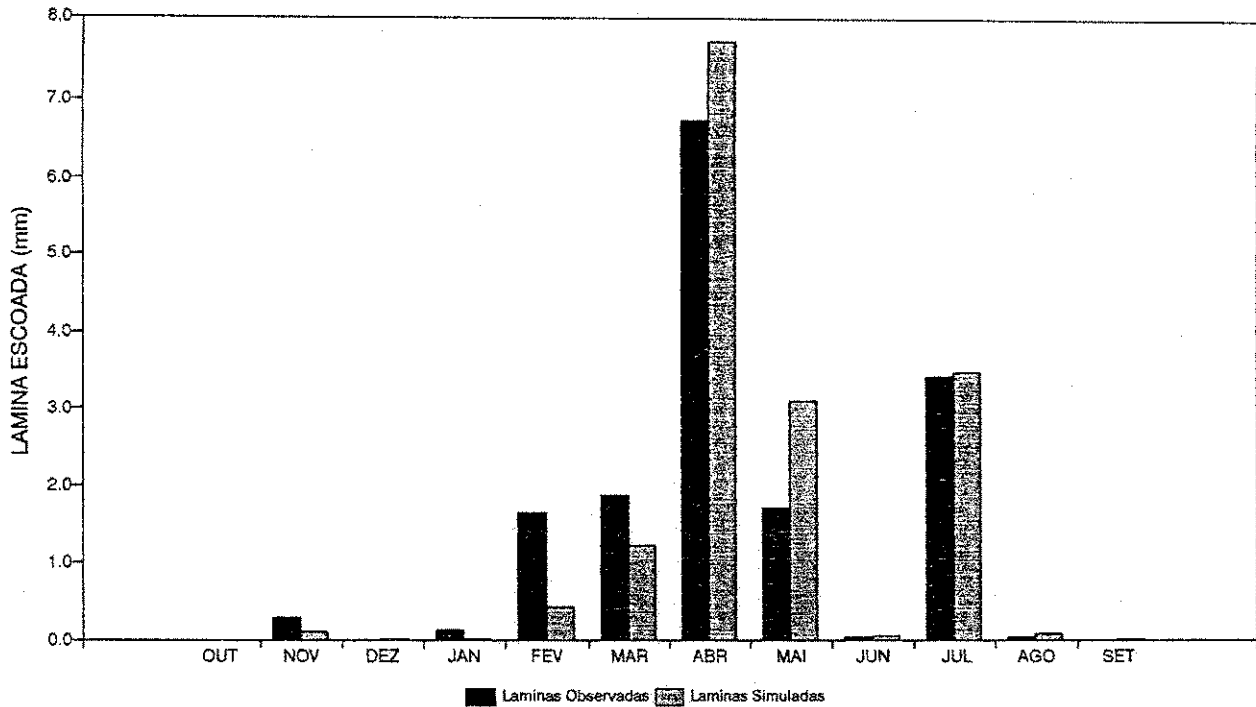


Figura A2.19 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 74/75

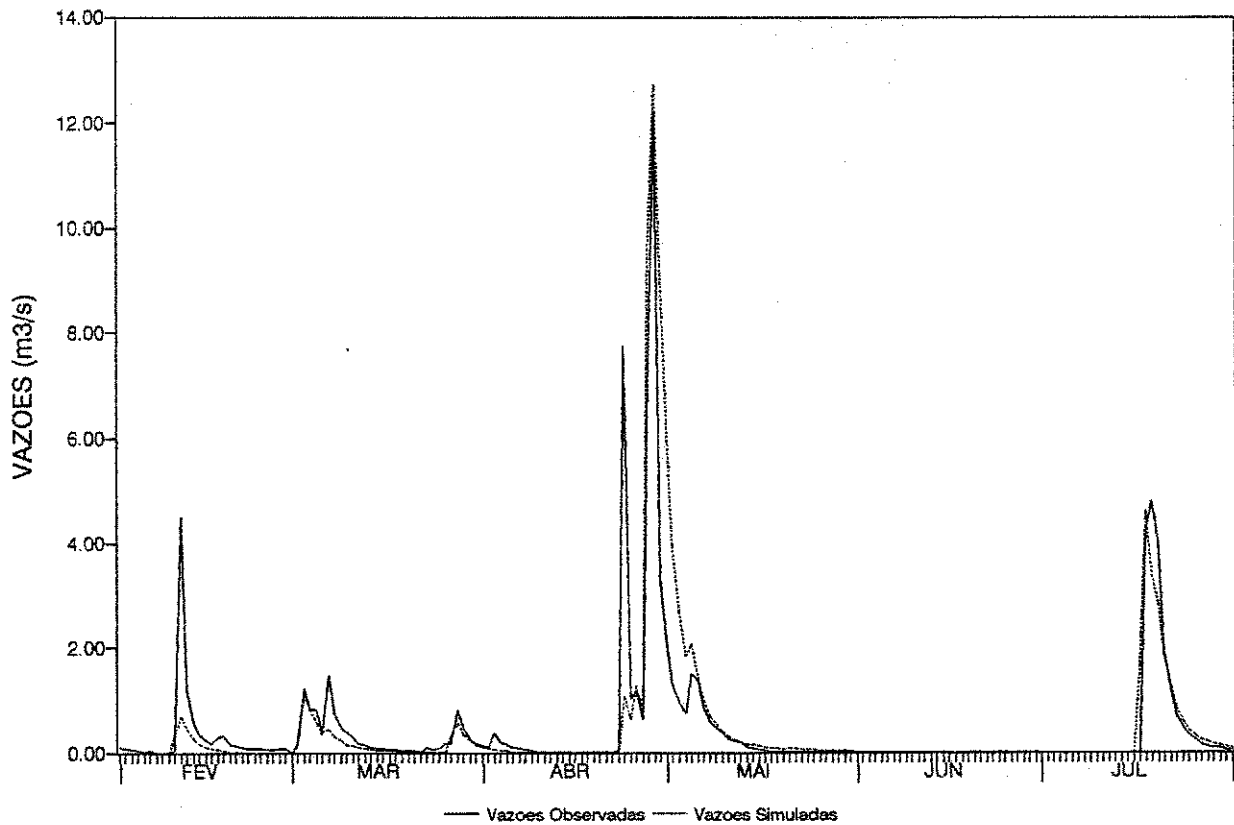


Figura A2.20 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 74/75

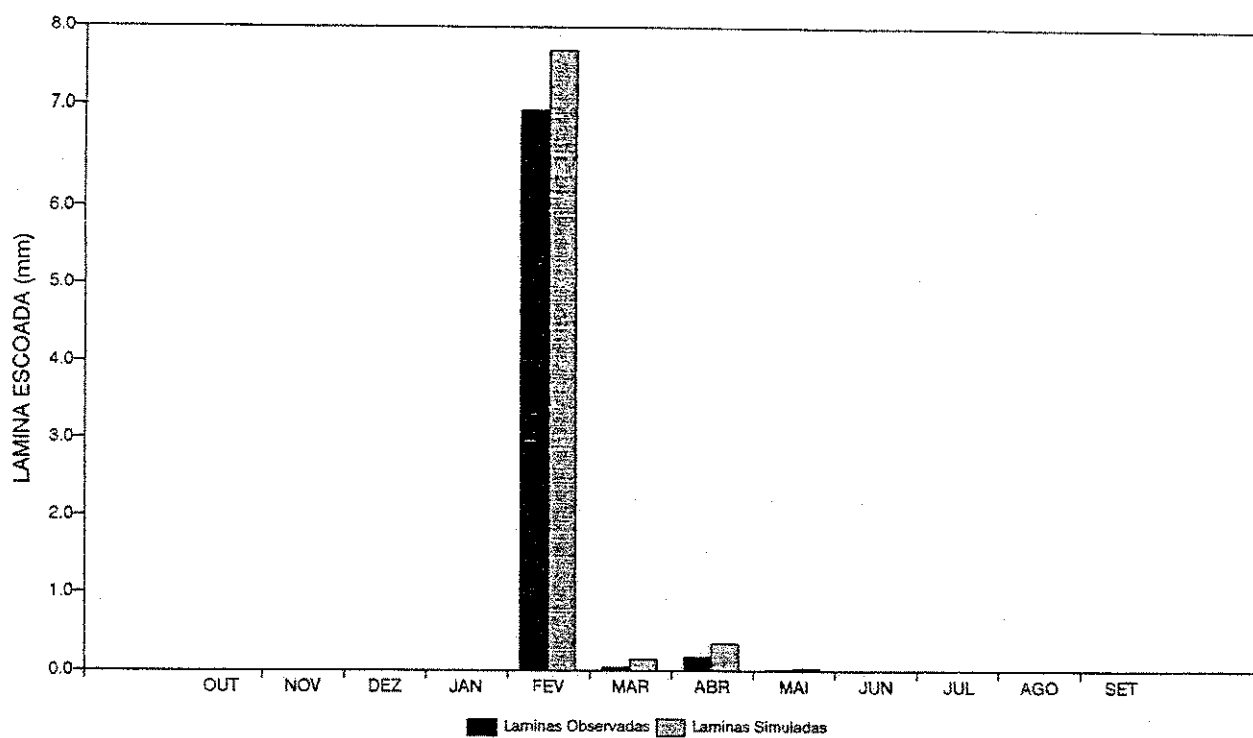


Figura A2.21 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 75/76

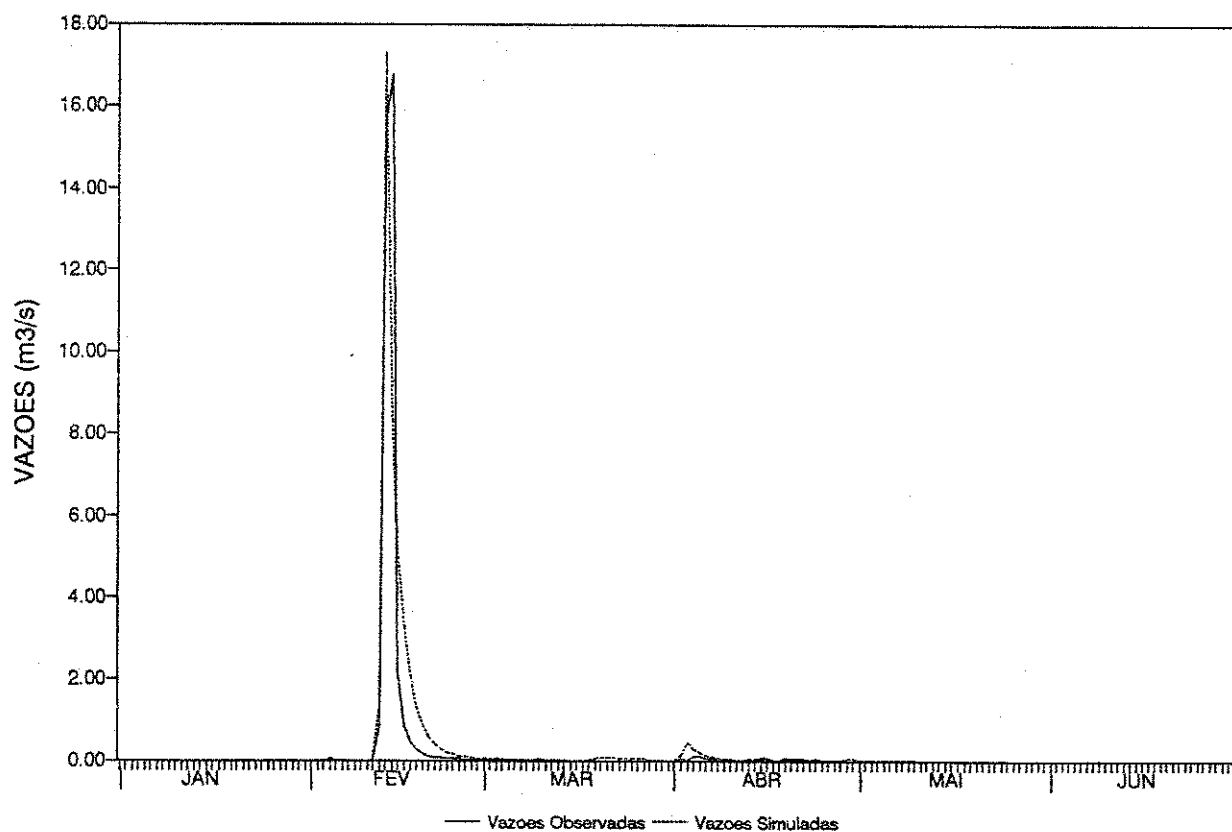


Figura A2.22 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 75/76

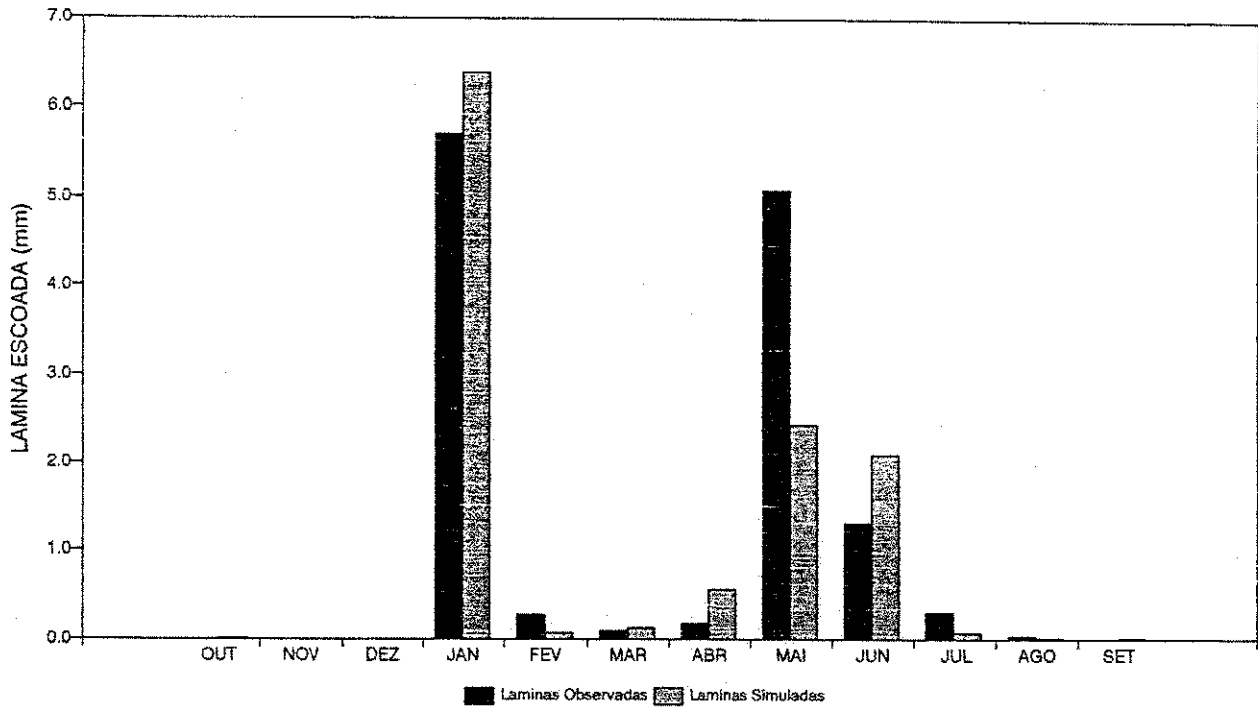


Figura A2.23 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 76/77

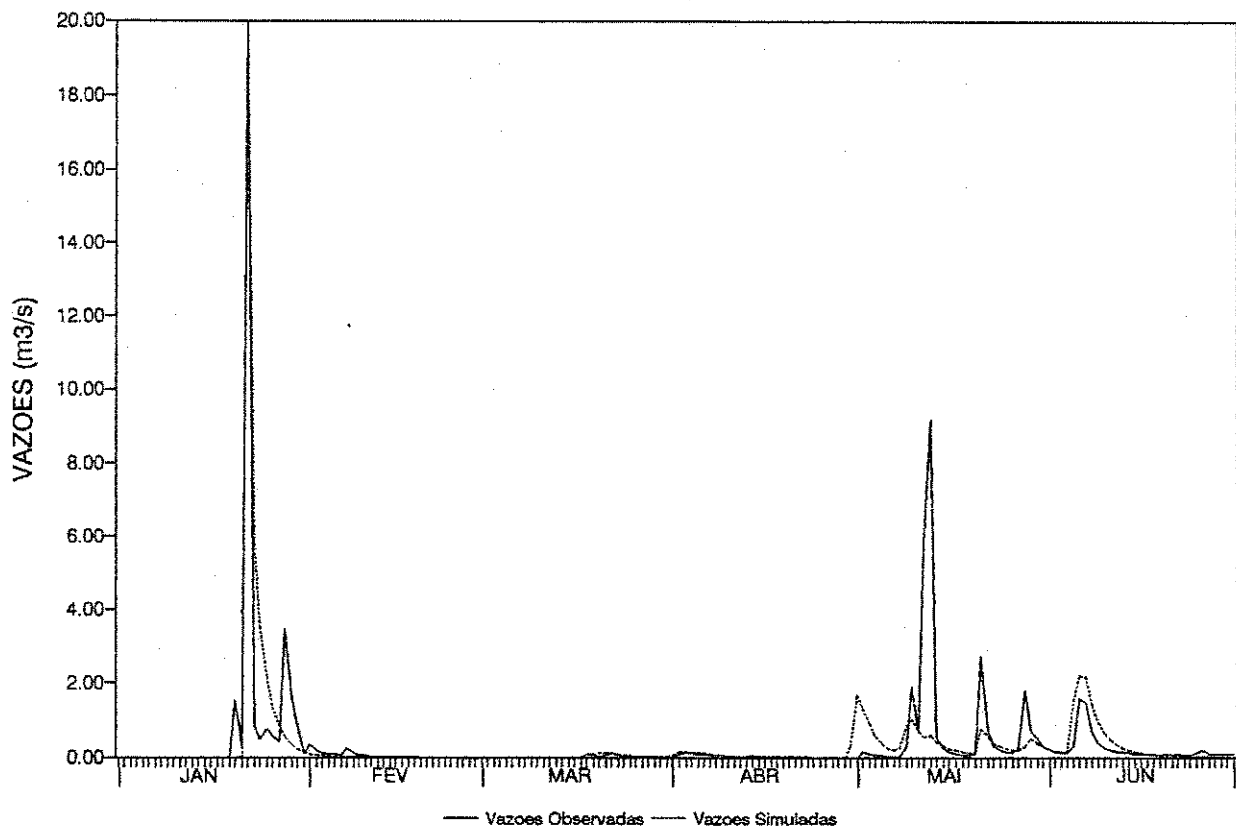


Figura A2.24 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Matriz - Ano: 76/77

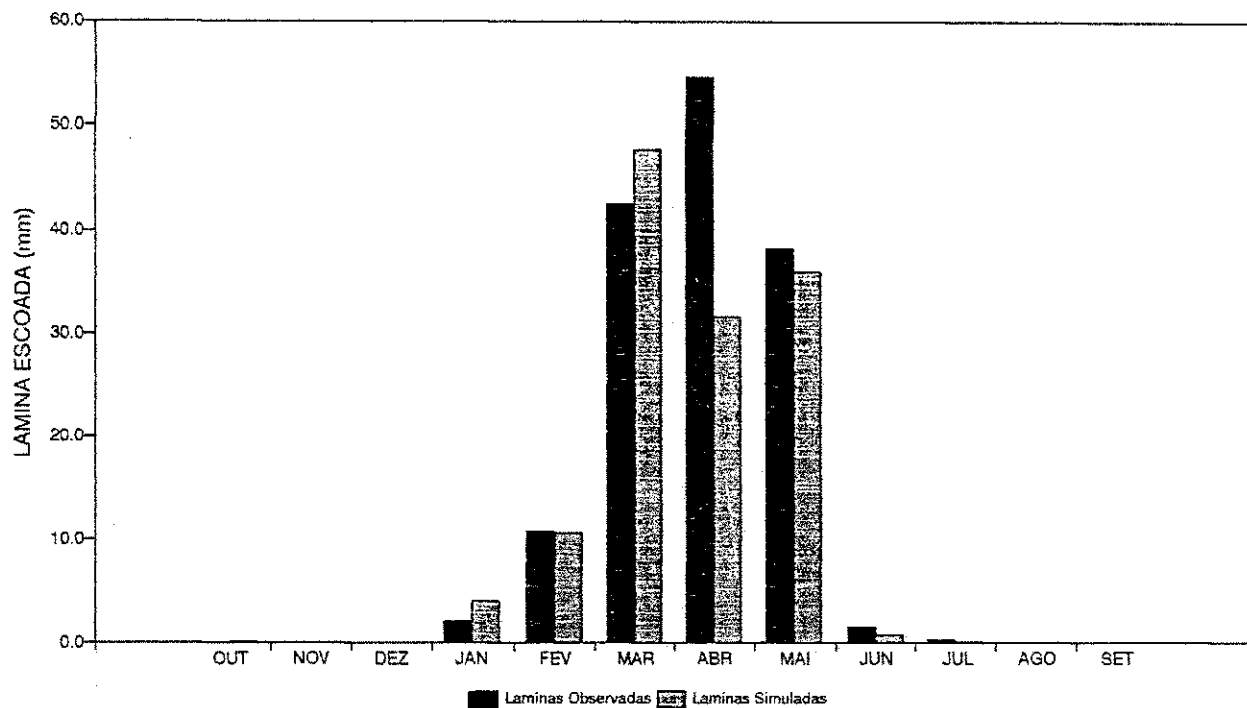


Figura A2.25 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 73/74

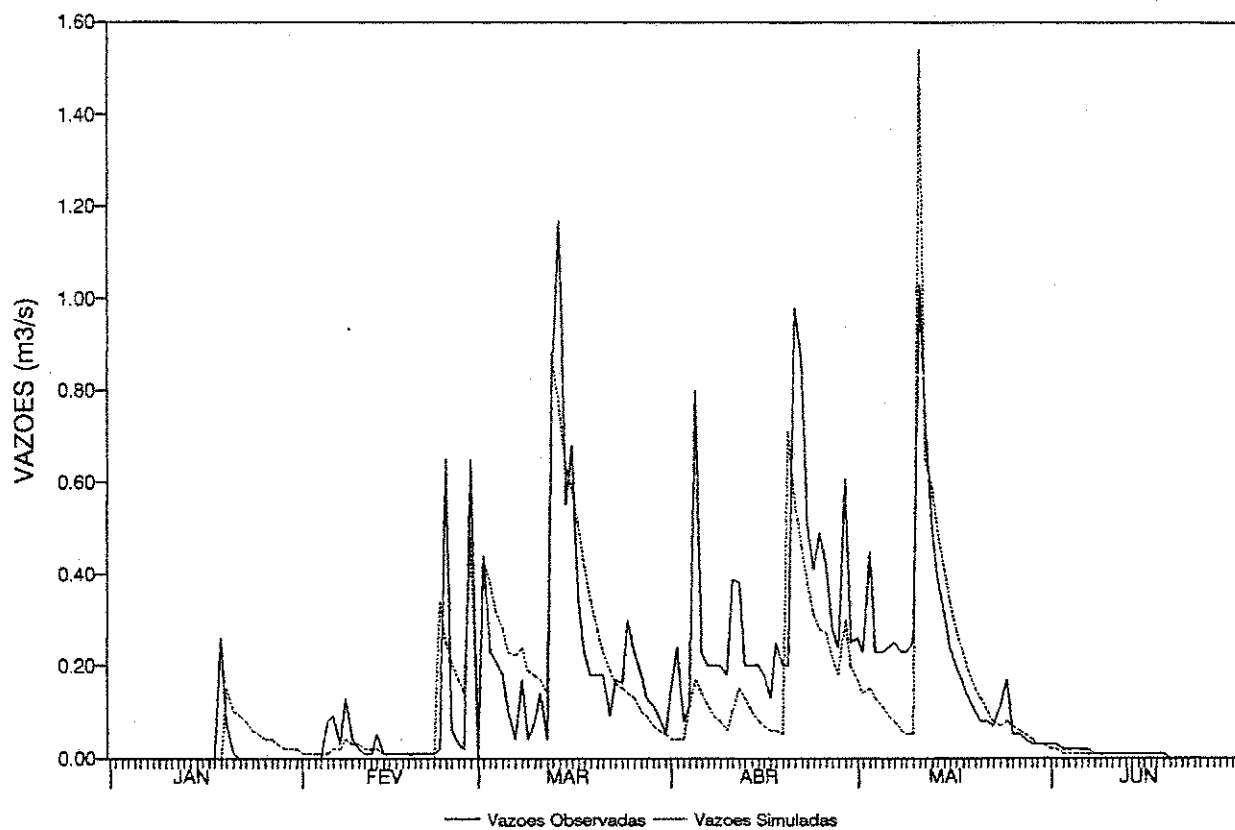


Figura A2.26 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 73/74

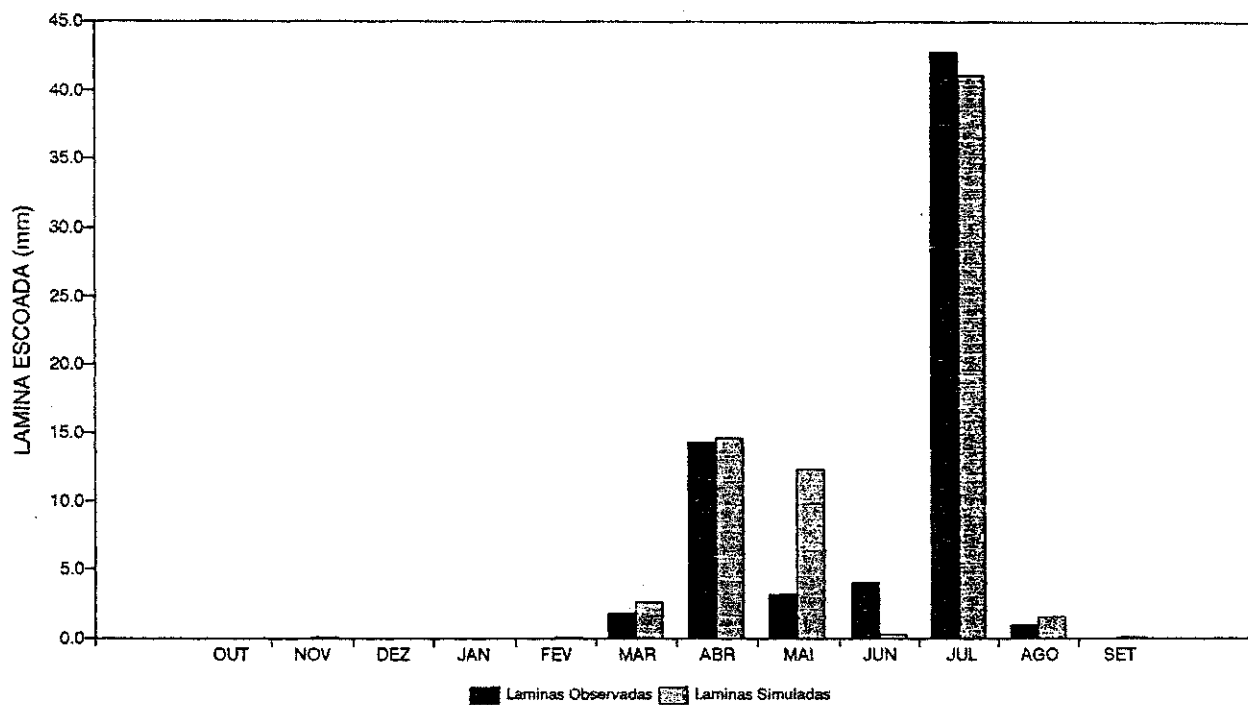


Figura A2.27 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75

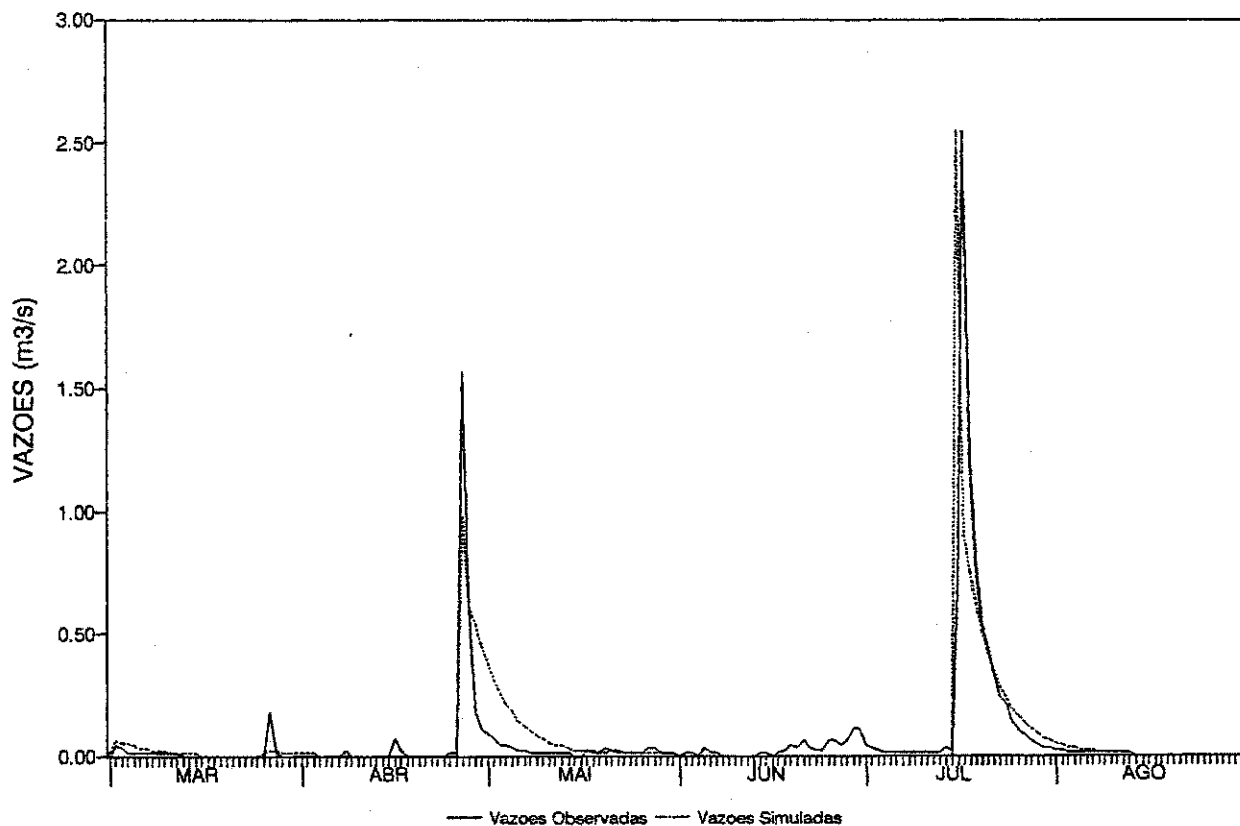


Figura A2.28 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 74/75

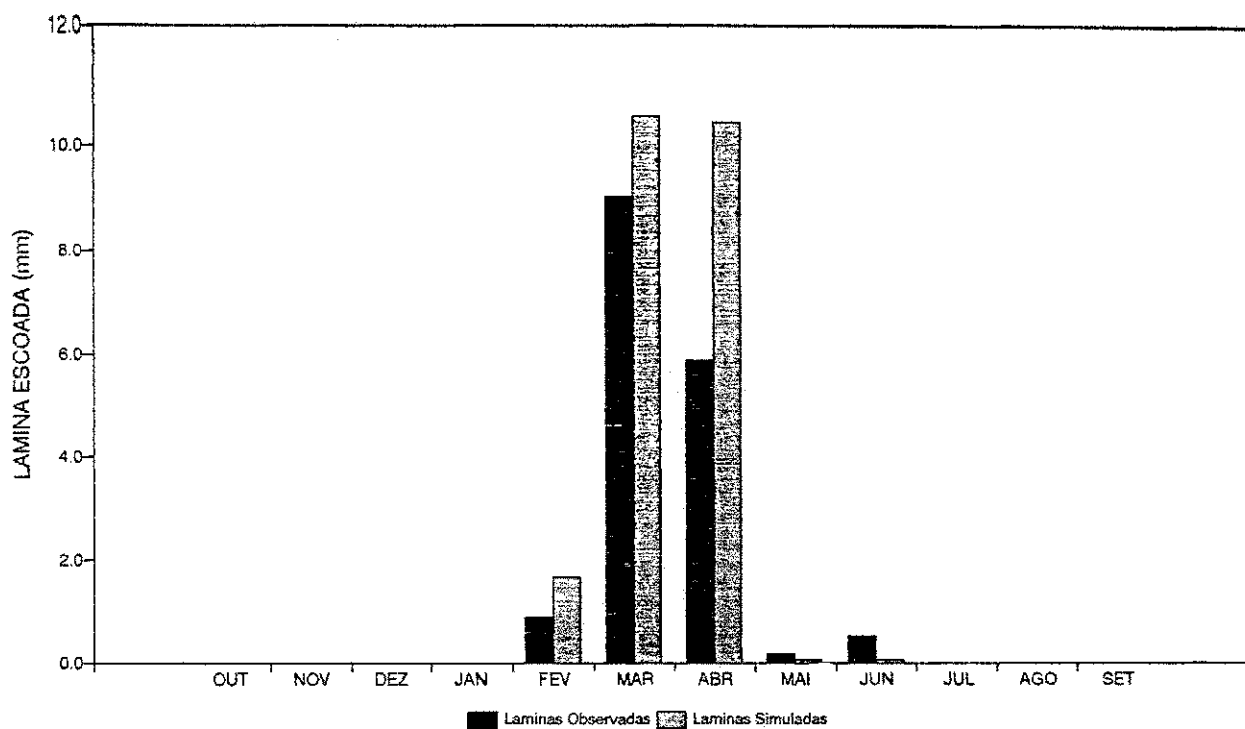


Figura A2.29 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 75/76

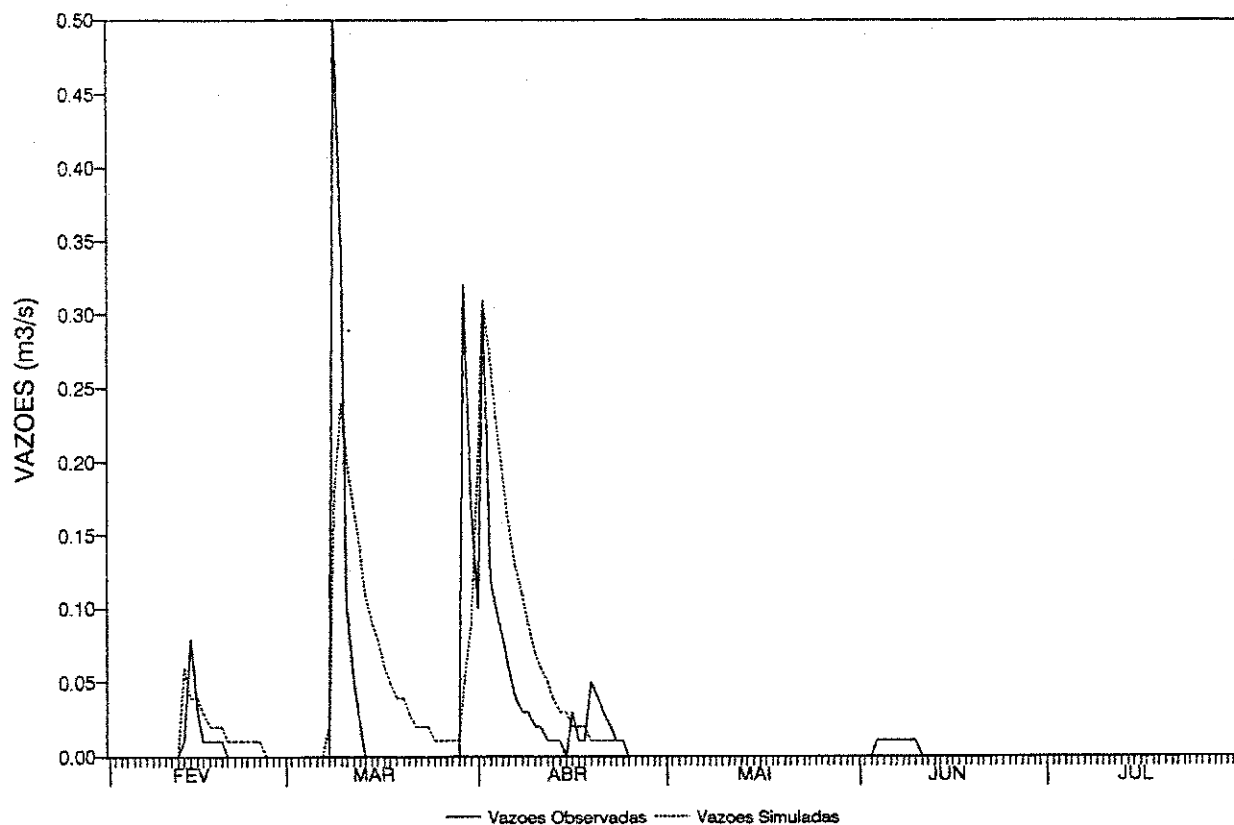


Figura A2.30 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 75/76

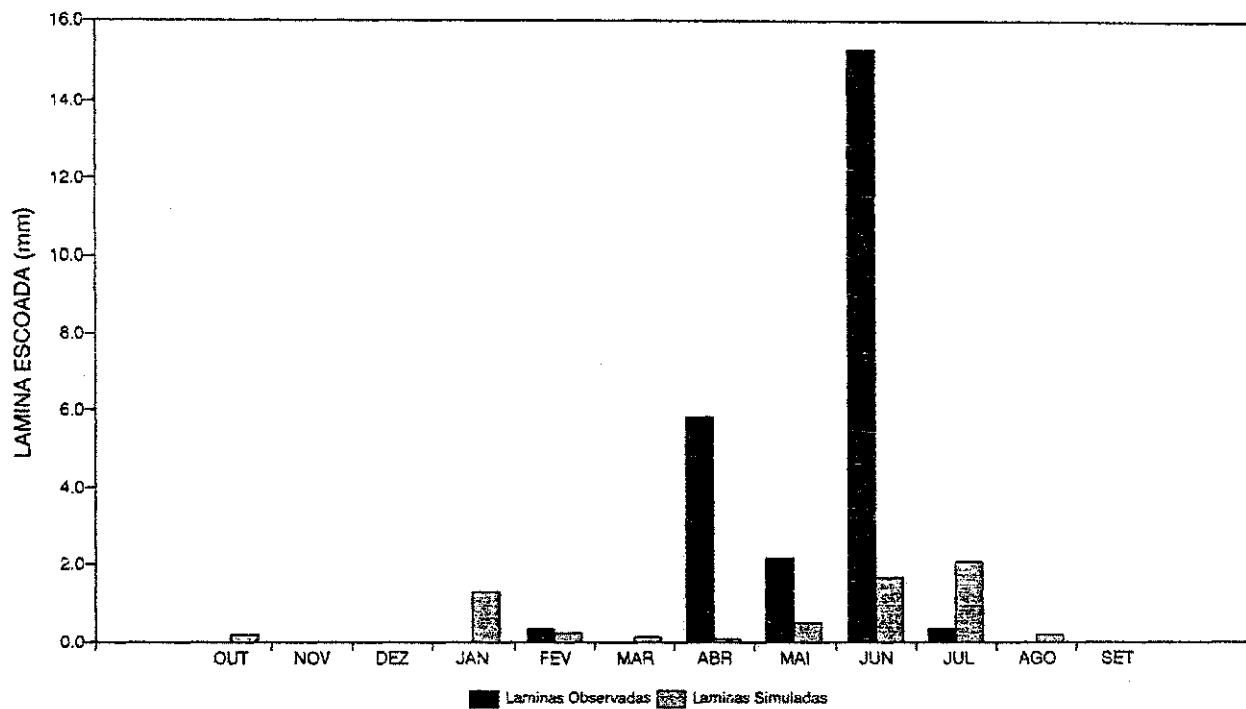


Figura A2.31 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 76/77

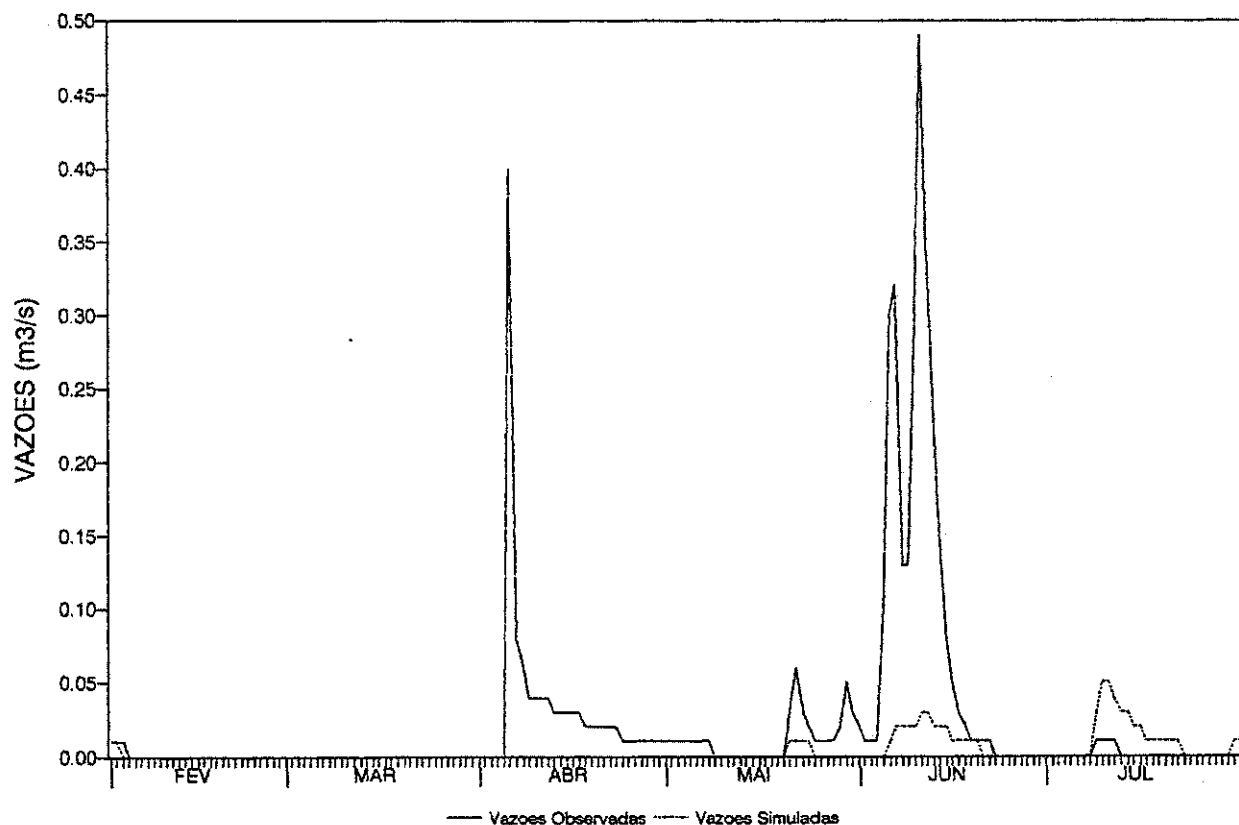


Figura A2.32 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Salobro - Ano: 76/77

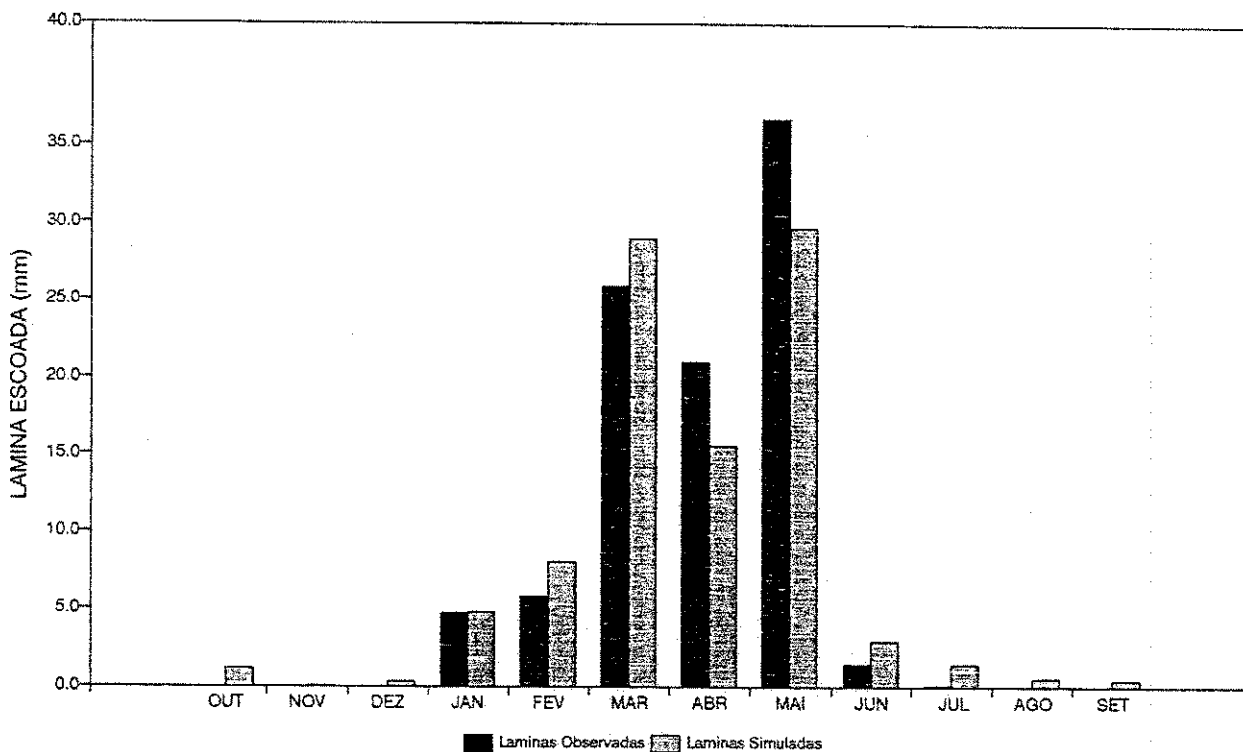


Figura A2.33 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 73/74

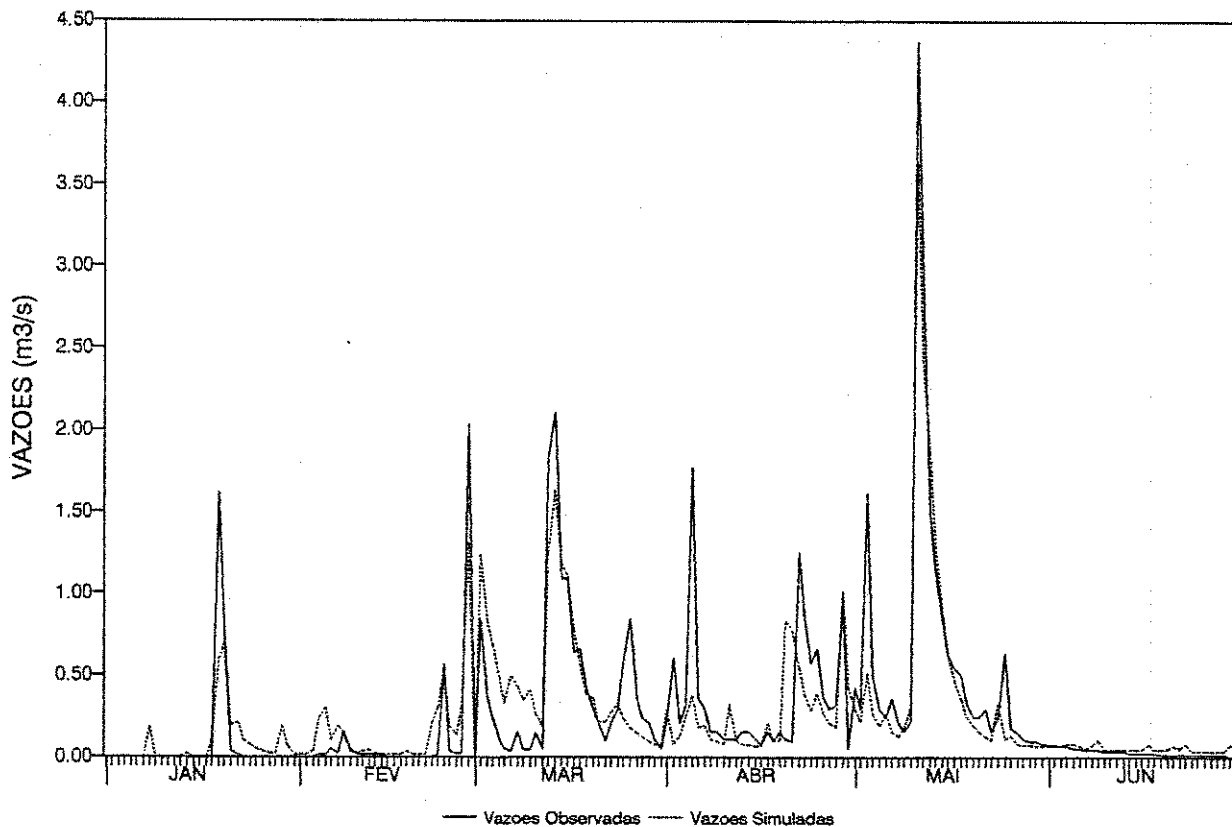


Figura A2.34 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 73/74

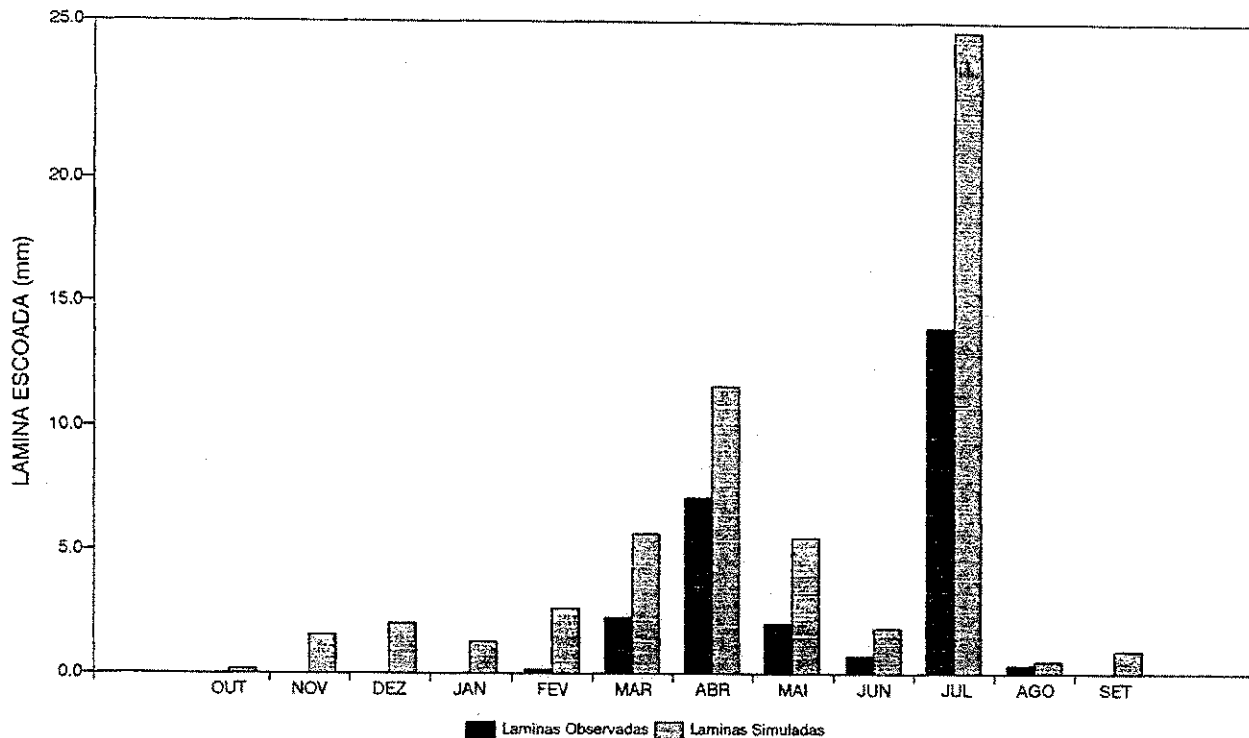


Figura A2.35 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 74/75

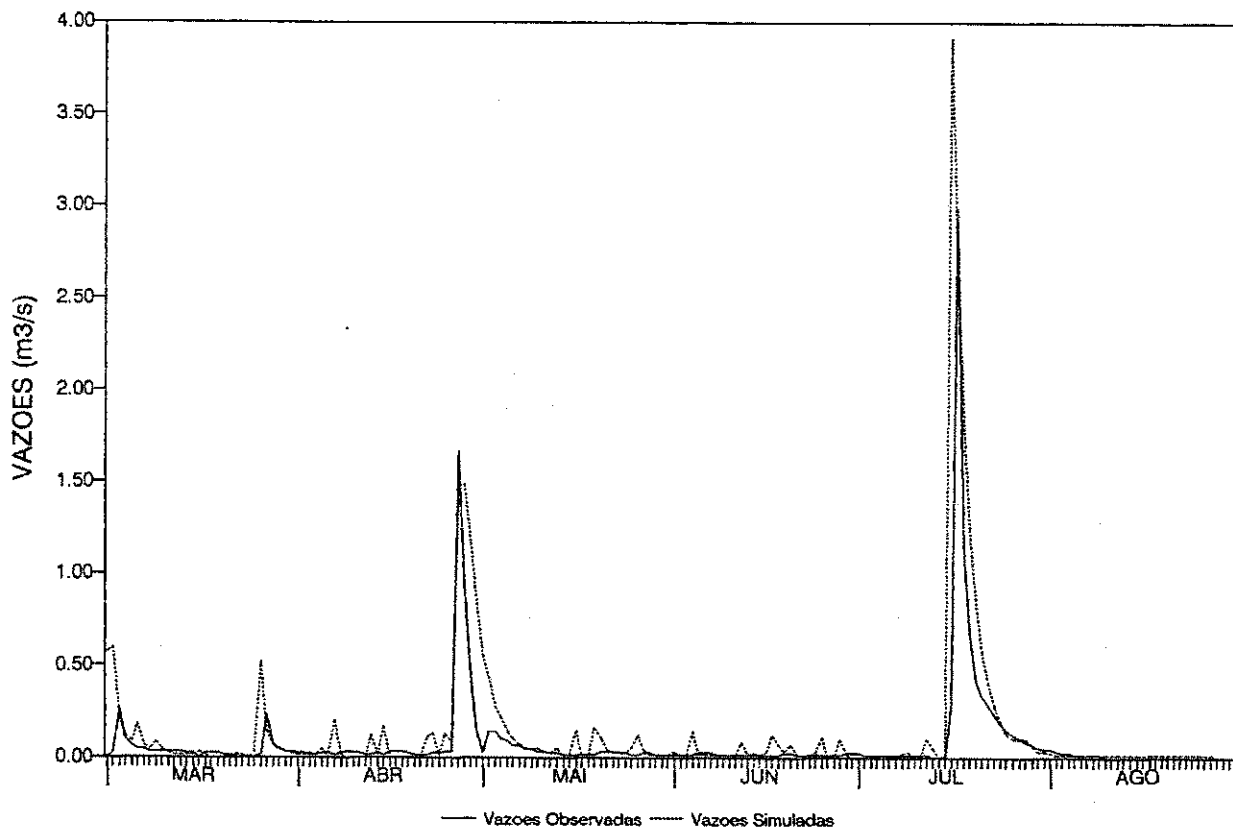


Figura A2.36 - Hidrogramas diários observado e simulado
 Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 74/75

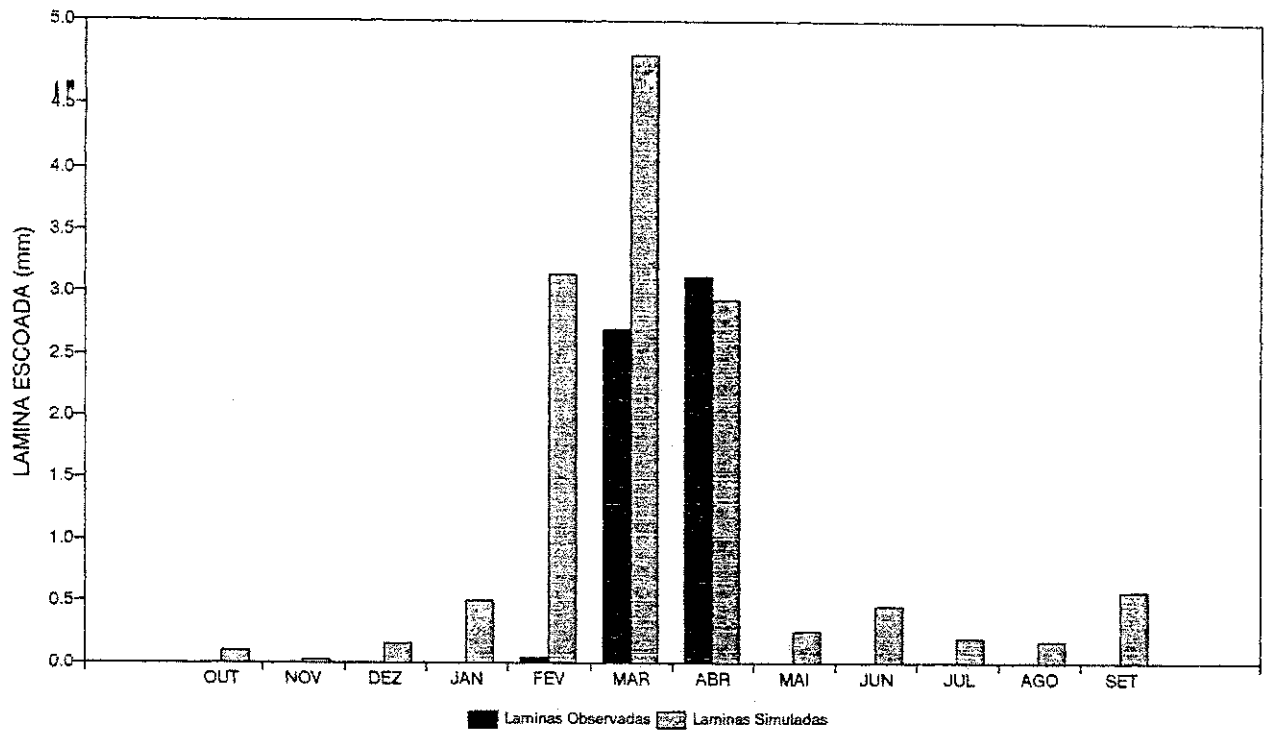


Figura A2.37 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 75/76

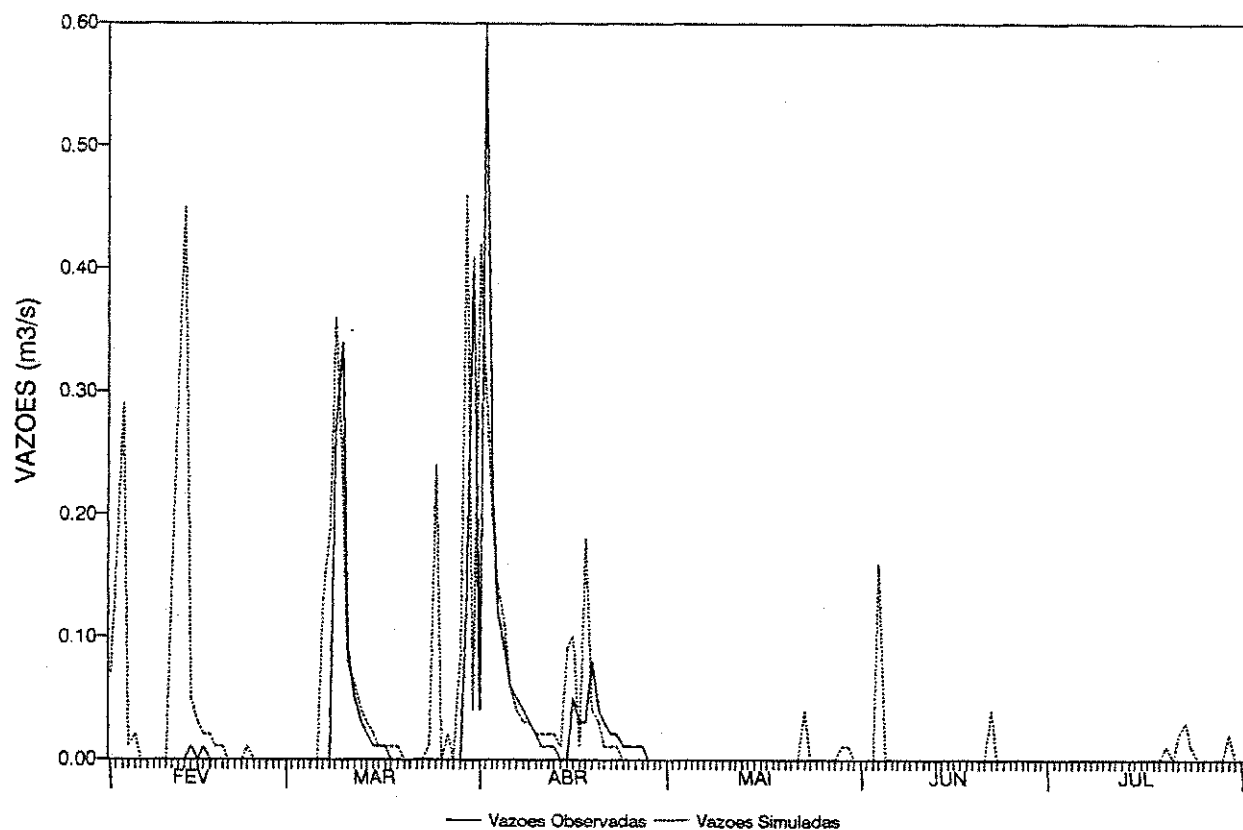


Figura A2.38 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 75/76

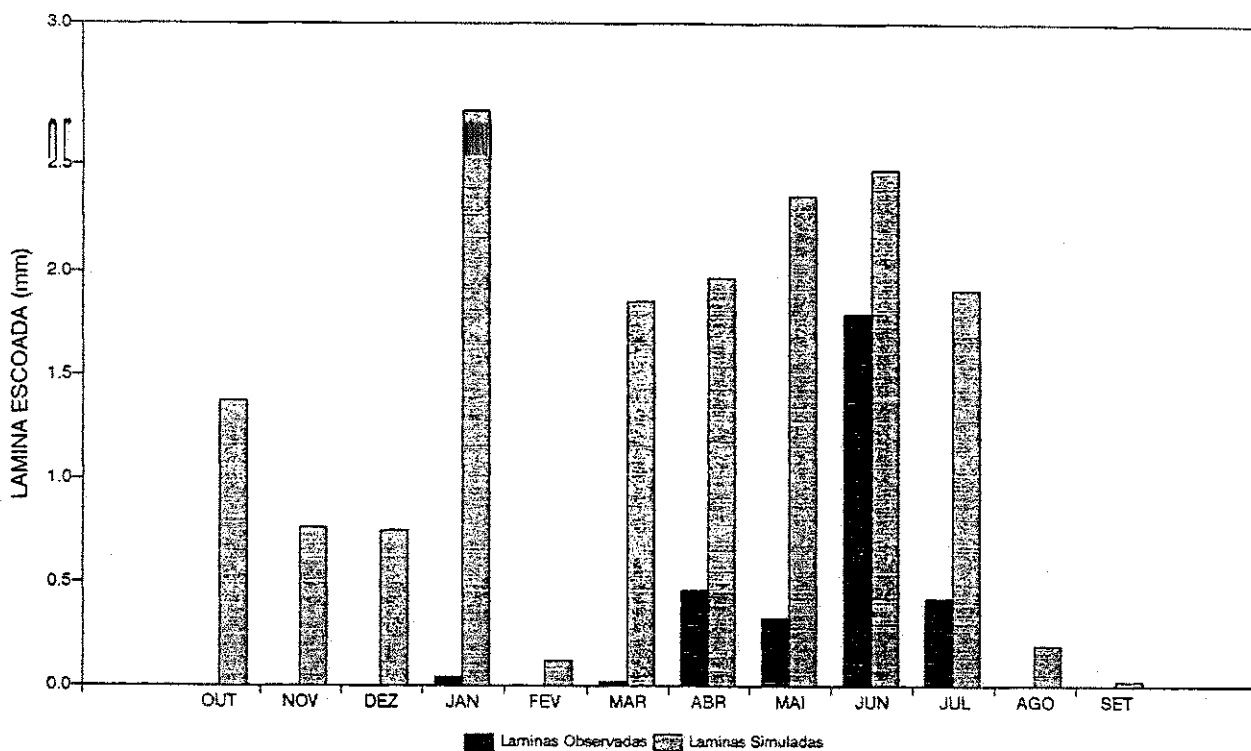


Figura A2.39 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 76/77

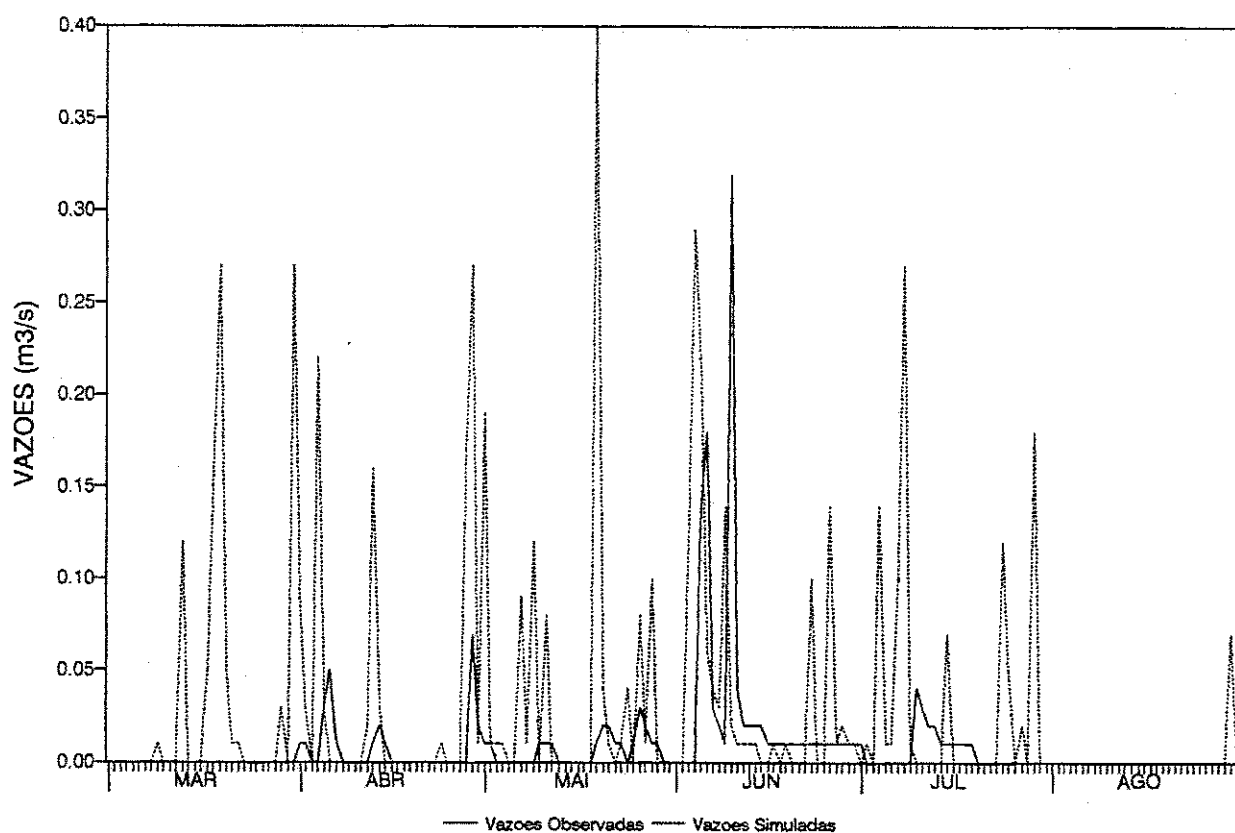


Figura A2.40 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Oscar Barros - Ano: 76/77

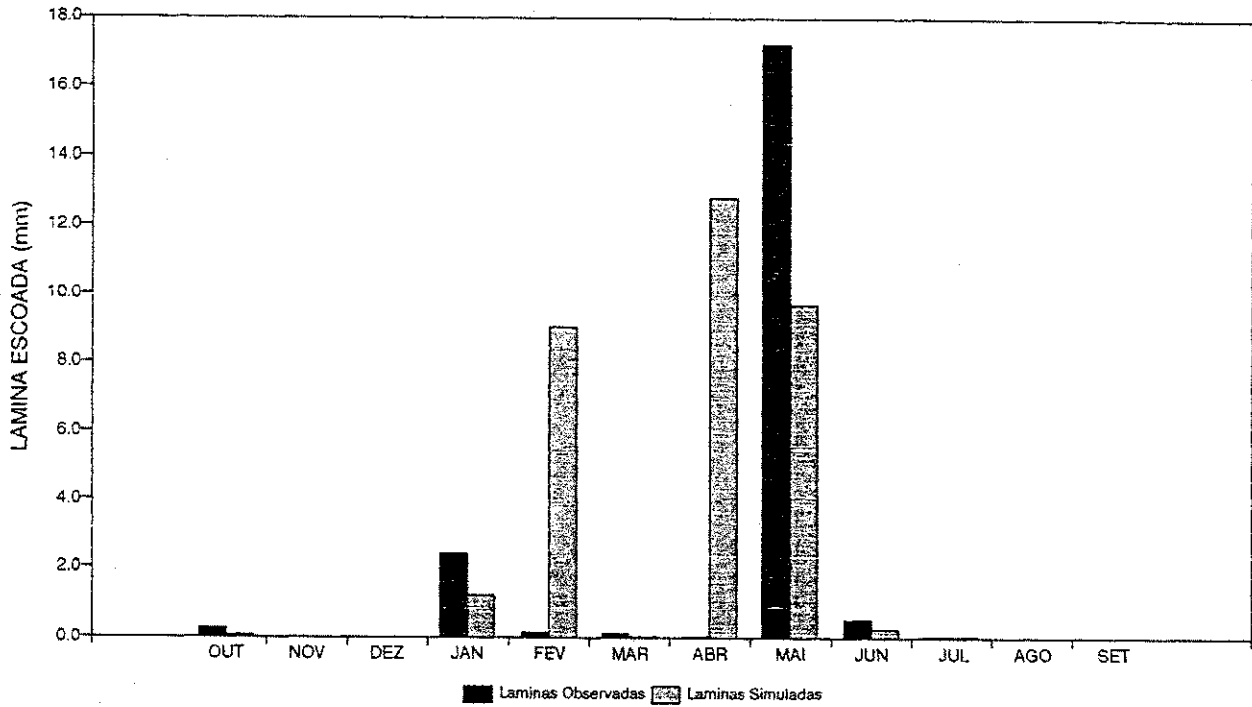


Figura A2.41 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 73/74

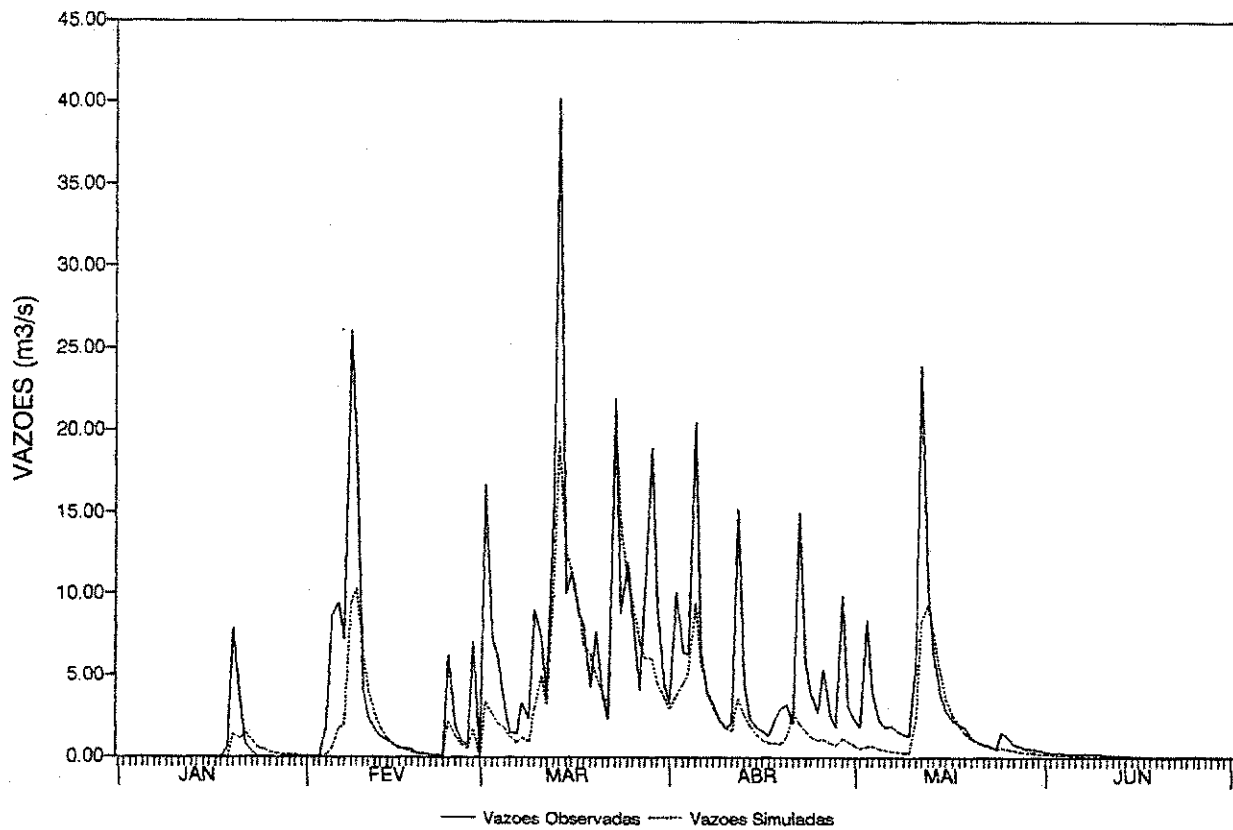


Figura A2.42 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 73/74

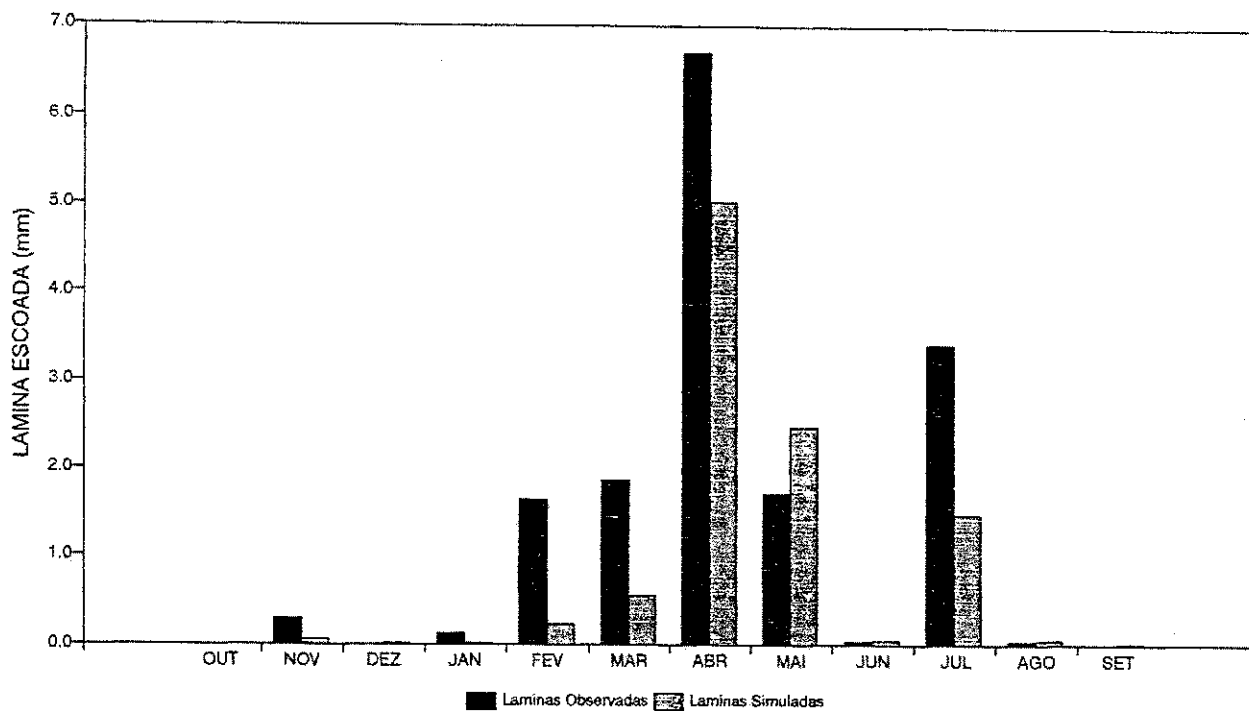


Figura A2.43 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 74/75

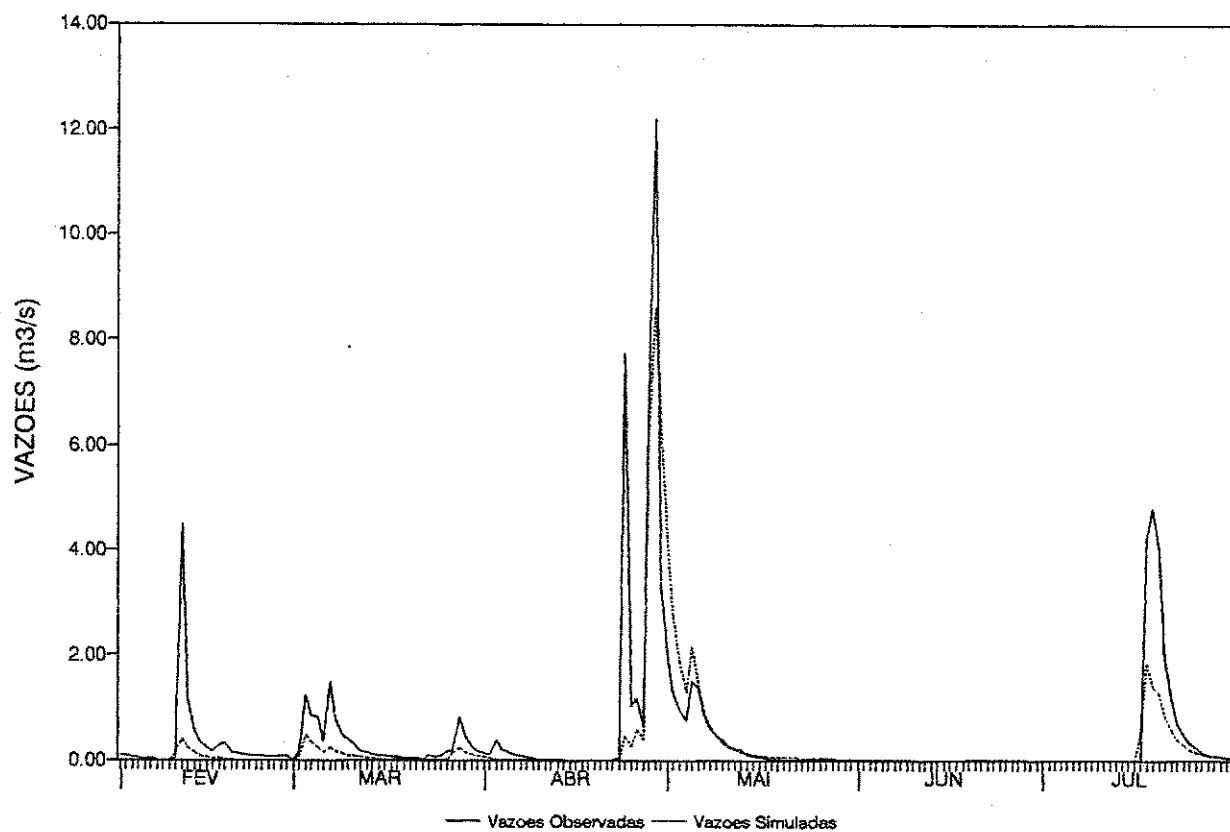


Figura A2.44 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 74/75

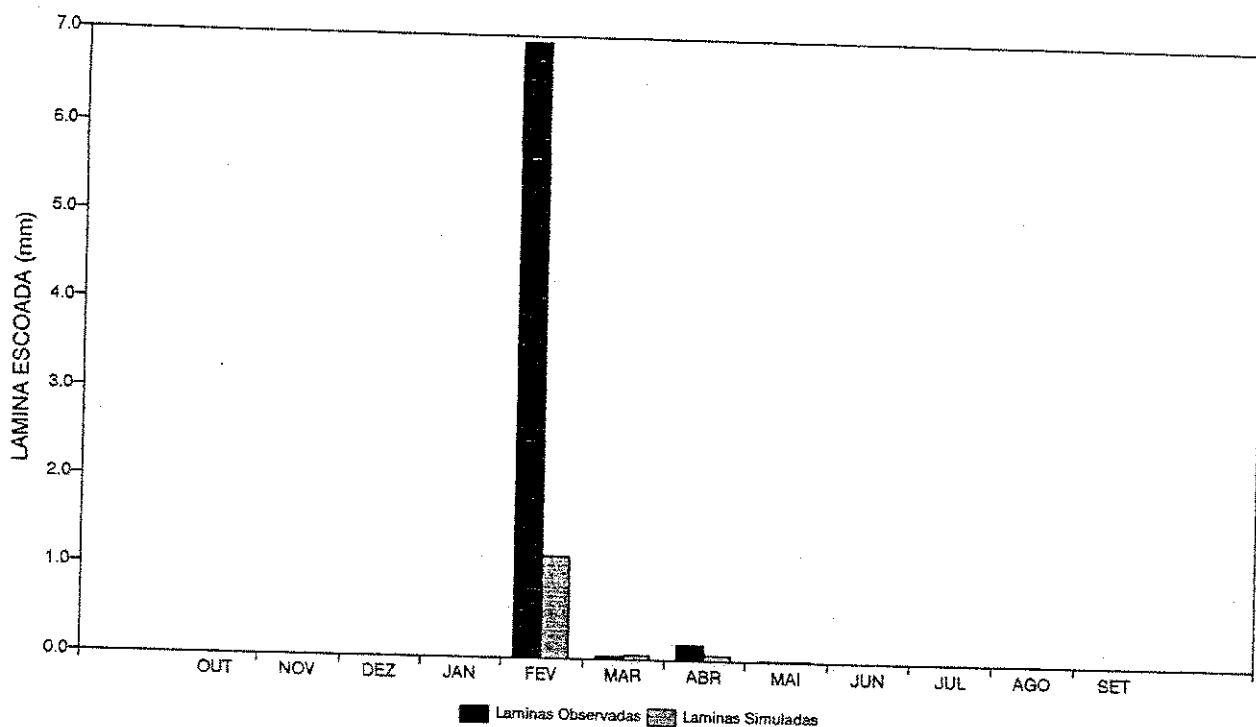


Figura A2.45 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 75/76

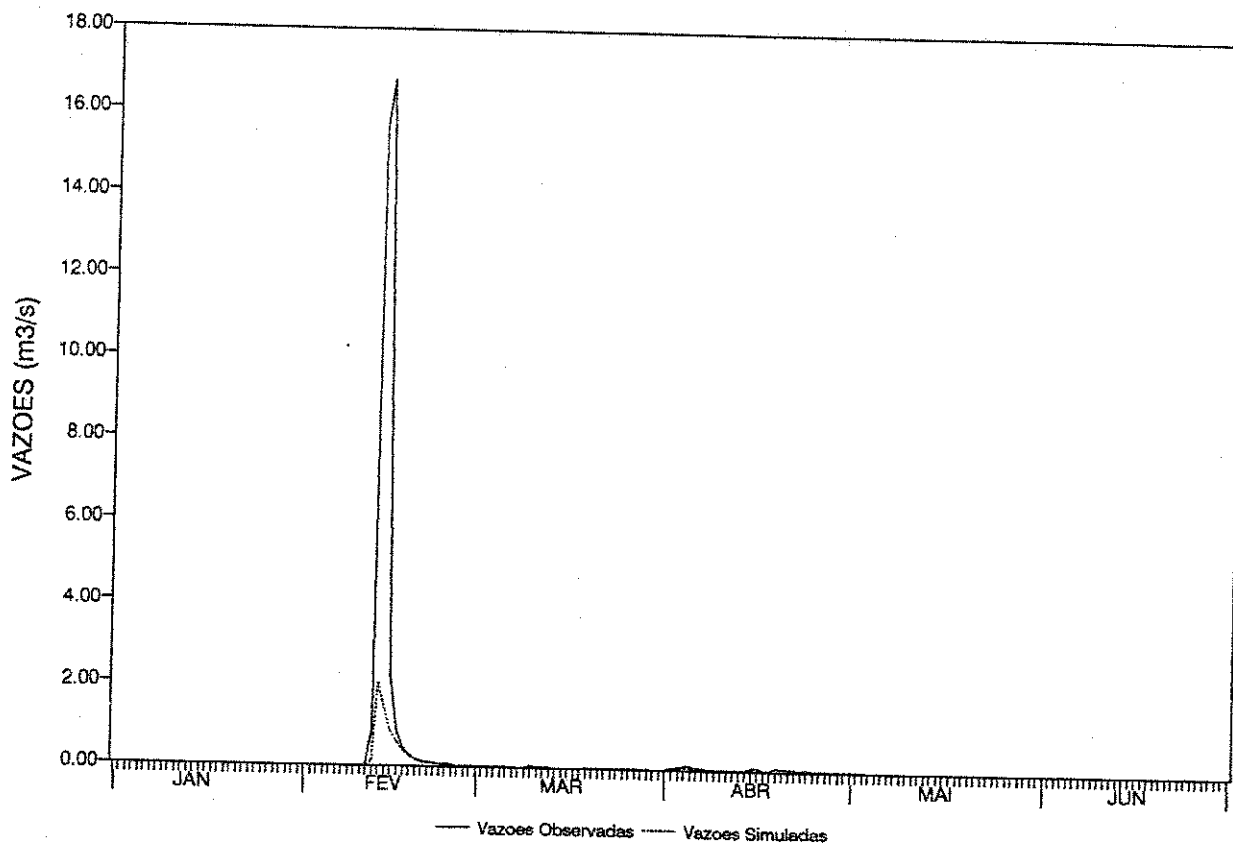


Figura A2.46 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 75/76

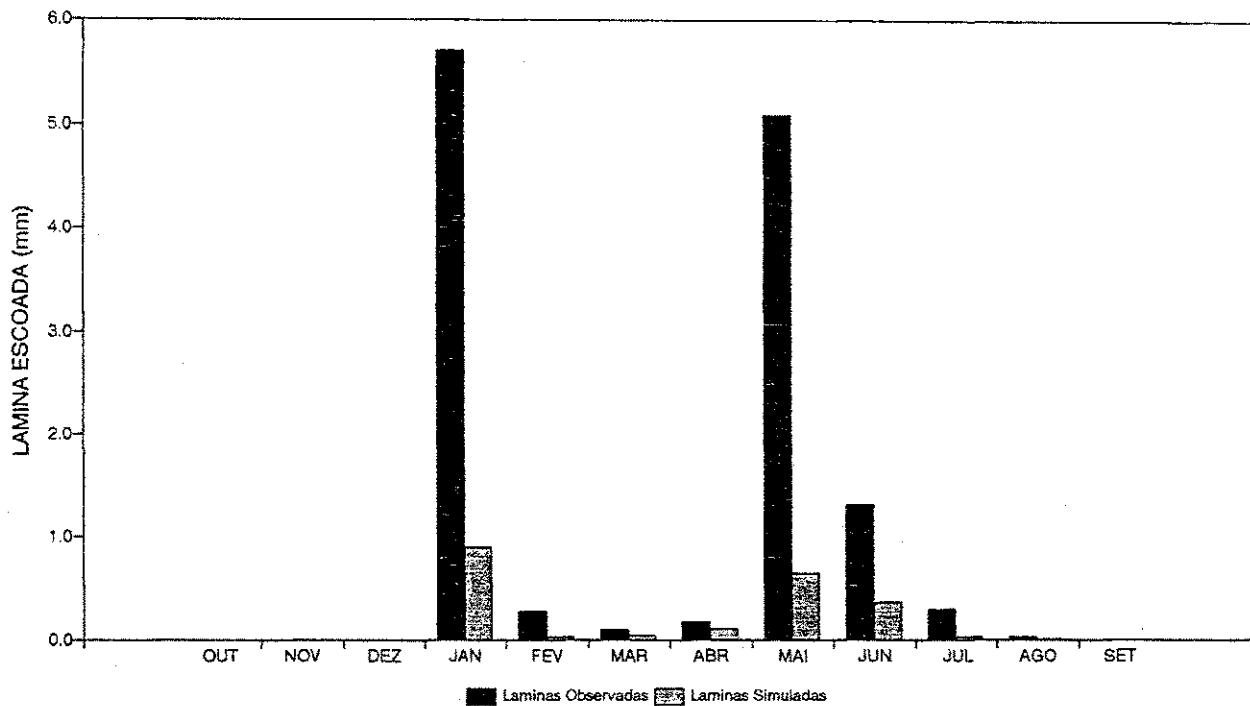


Figura A2.47 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 76/77

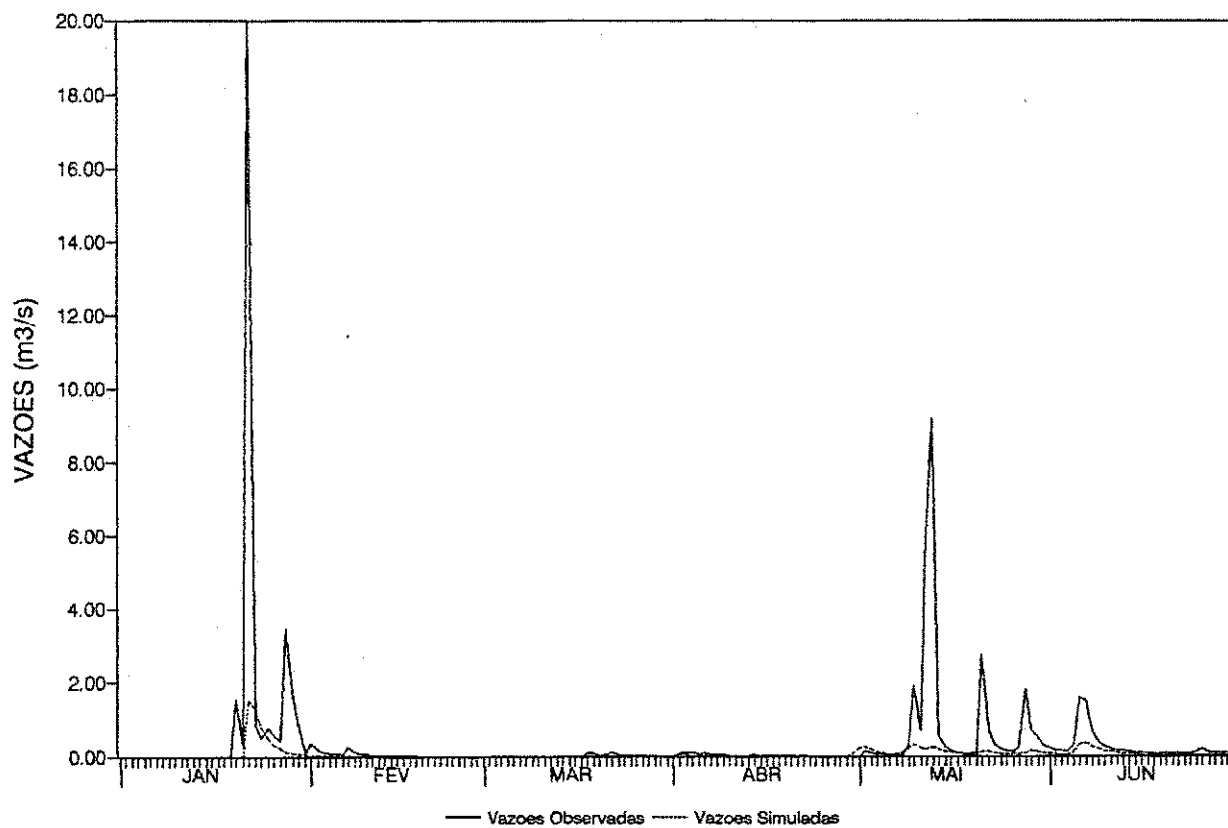


Figura A2.48 - Hidrogramas diários observado e simulado
Parâmetros médios - Sub-bacia: Matriz - Ano: 76/77

ANEXO 3**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO EM SUMÉ/PB**

1. Gráficos ESTATÍSTICAS X PARÂMETROS (tabela 5.8)... Figuras A3.1 a A3.18
2. Histogramas de lâminas médias escoadas e hidrogramas diários
observados e simulados..... Figuras A3.19 a A3.30
3. Diagramas de dispersão: vazões simuladas X vazões observadas
..... Figuras A3.31 a A3.43

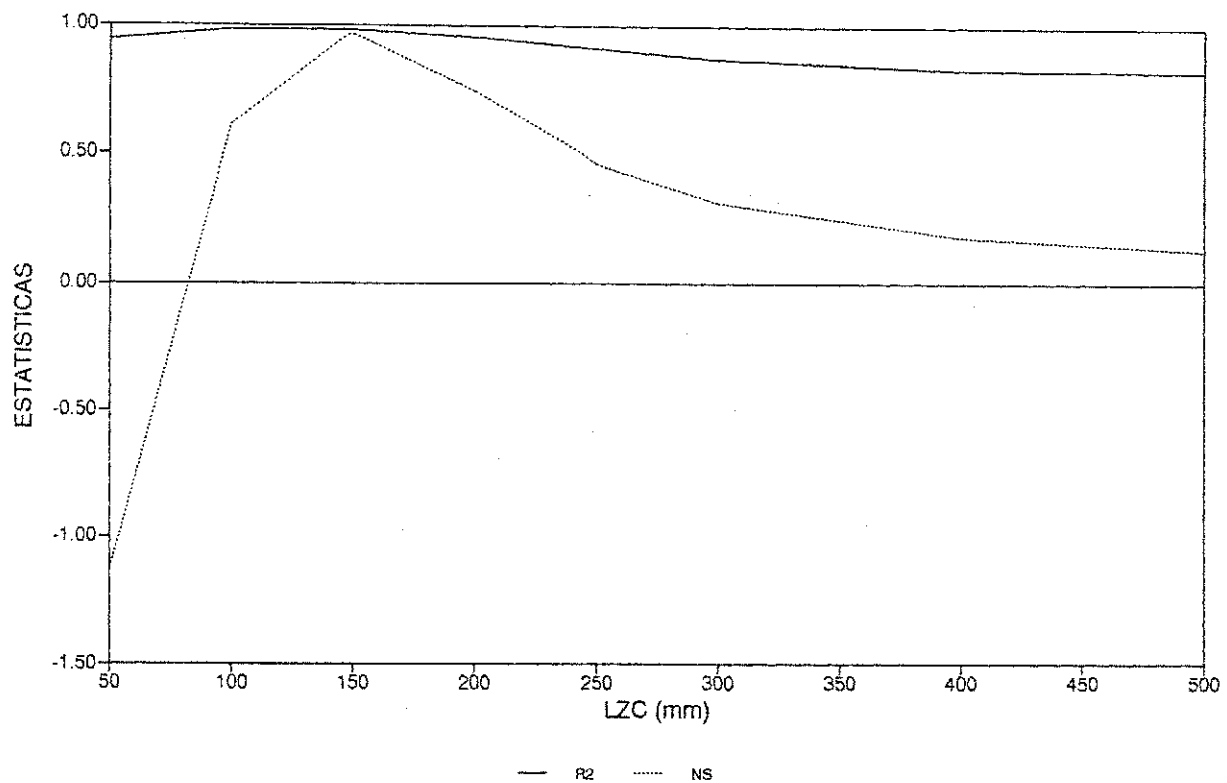


Figura A3.1 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **LZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

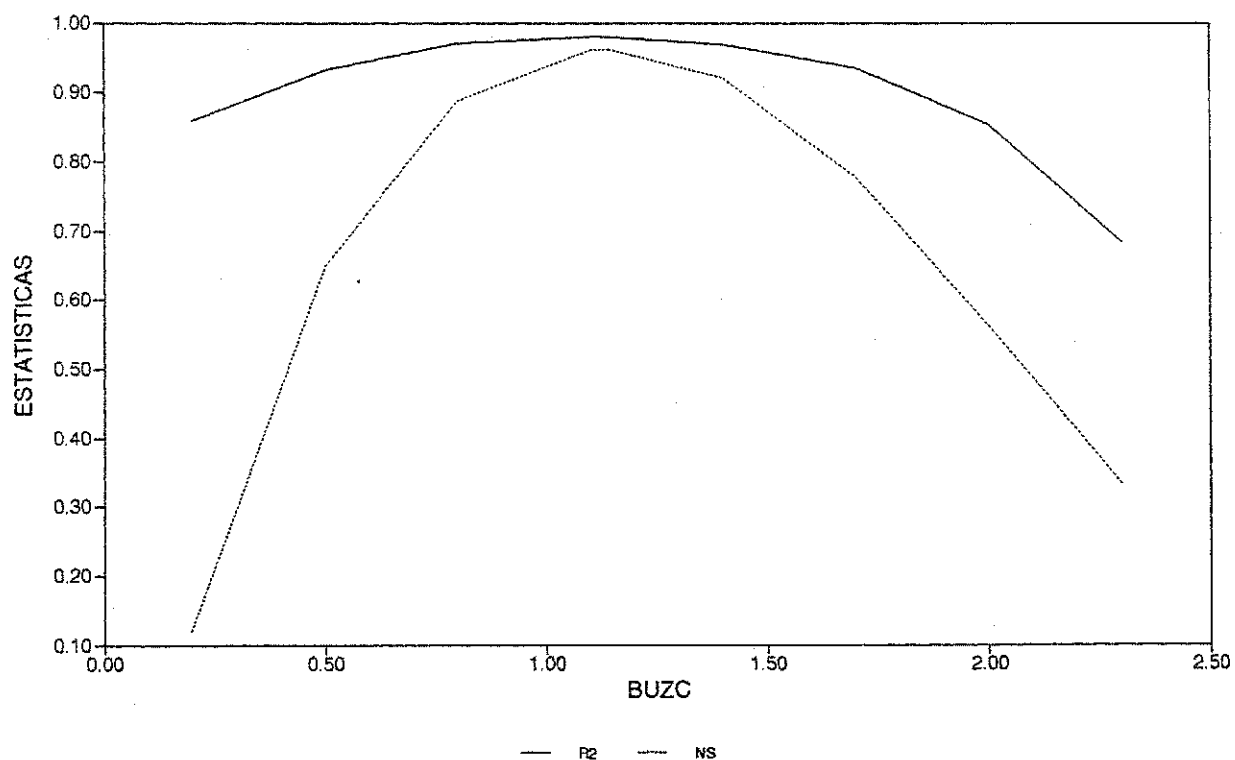


Figura A3.2 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BUZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

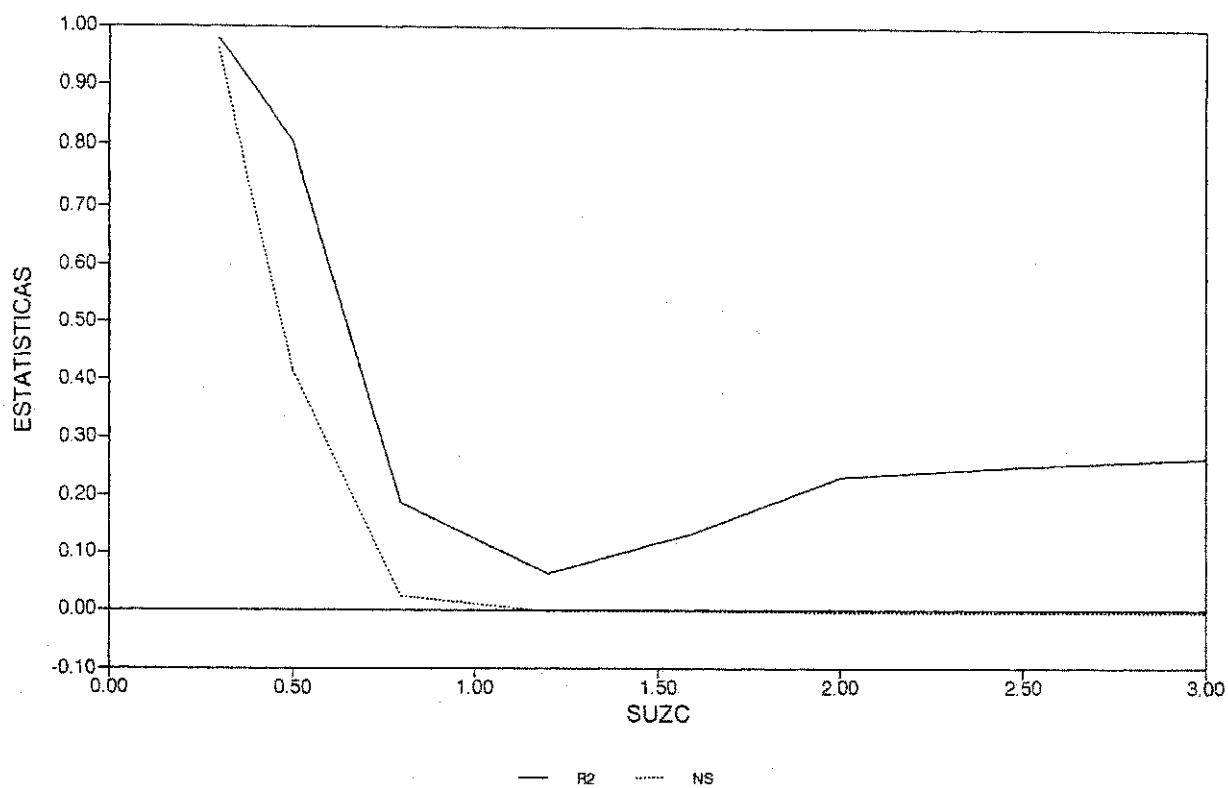


Figura A3.3 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **SUZC**
 Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

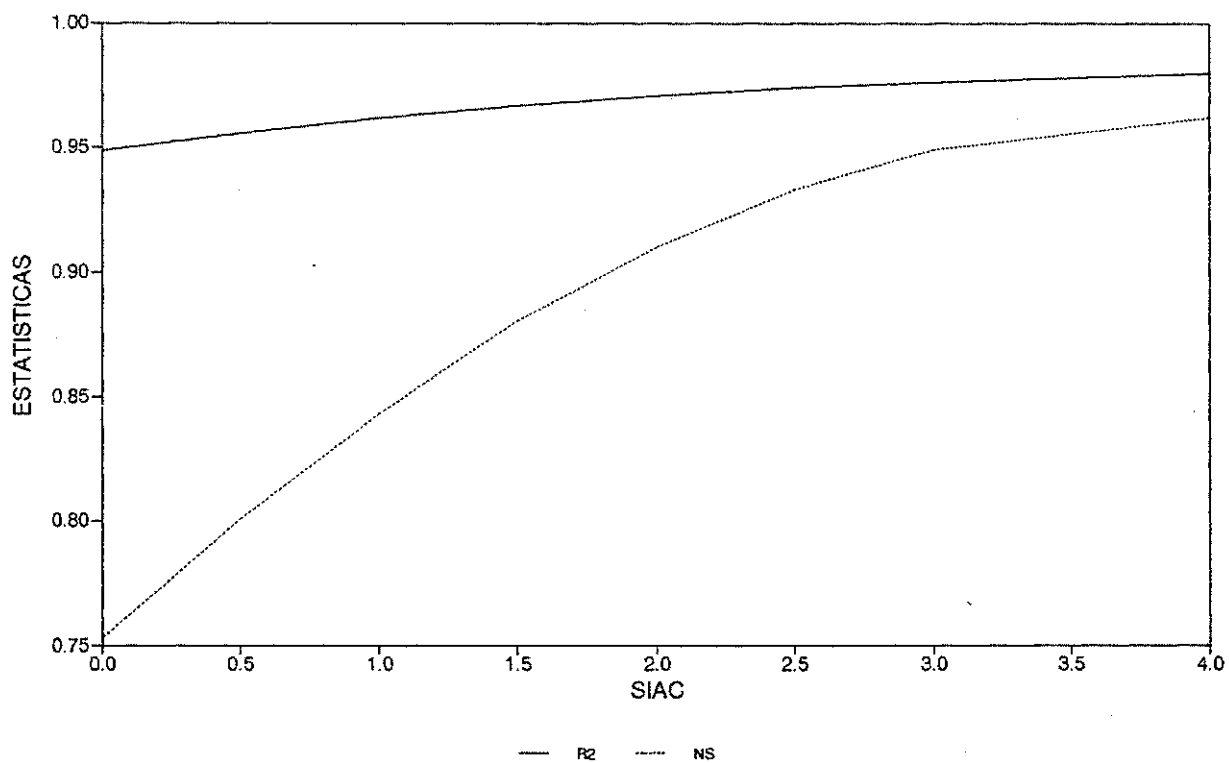


Figura A3.4 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **SIAC**
 Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

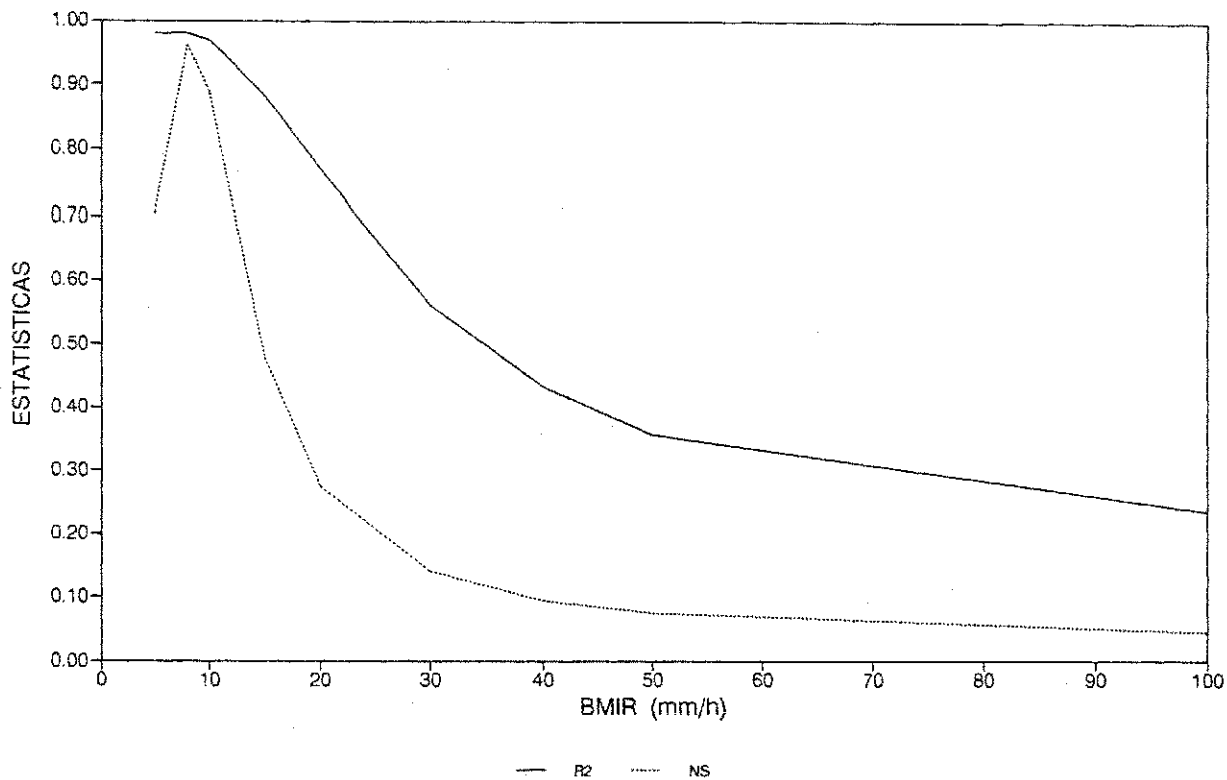


Figura A3.5 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BMIR**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

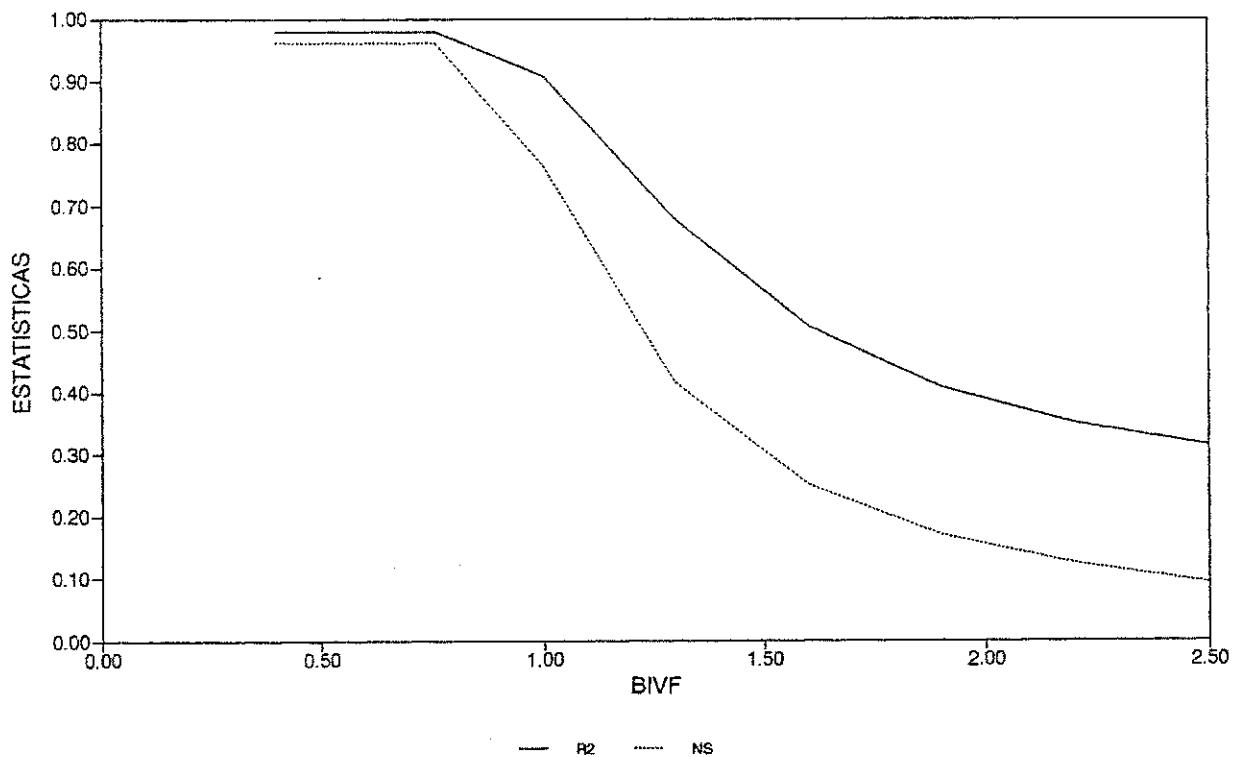


Figura A3.6 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BIVF**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

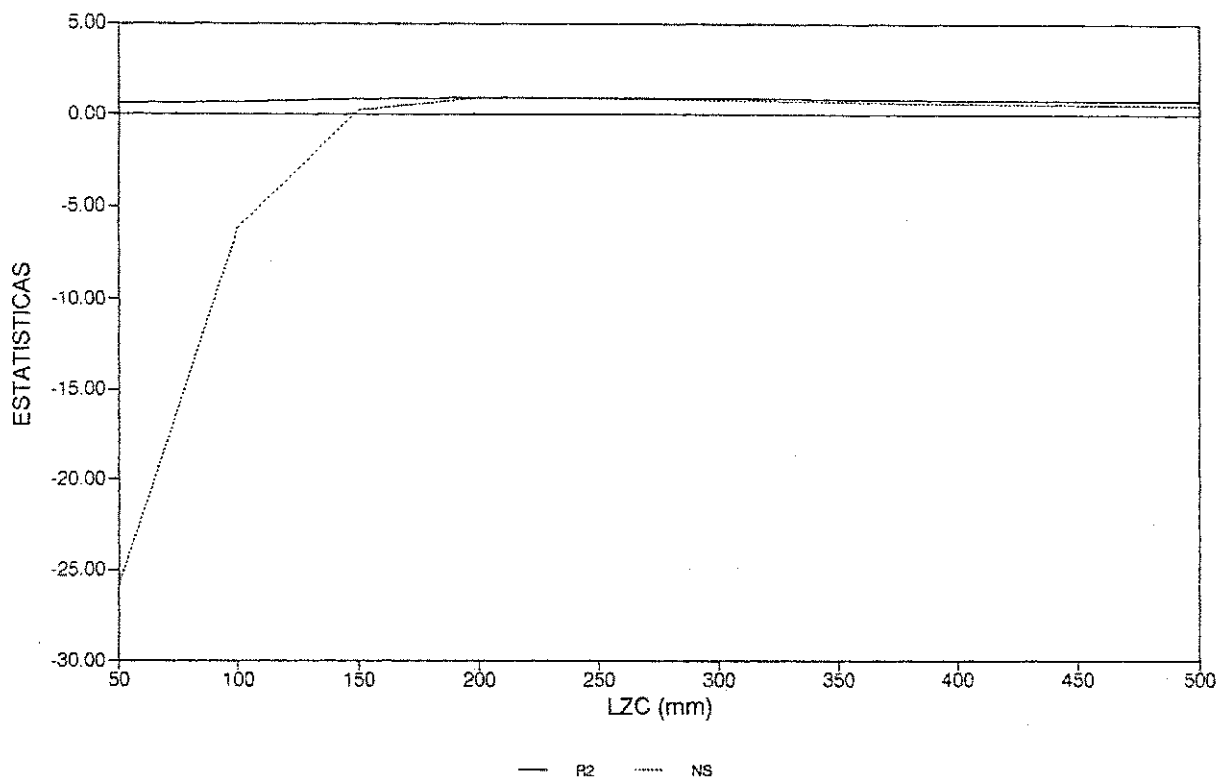


Figura A3.7 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **LZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

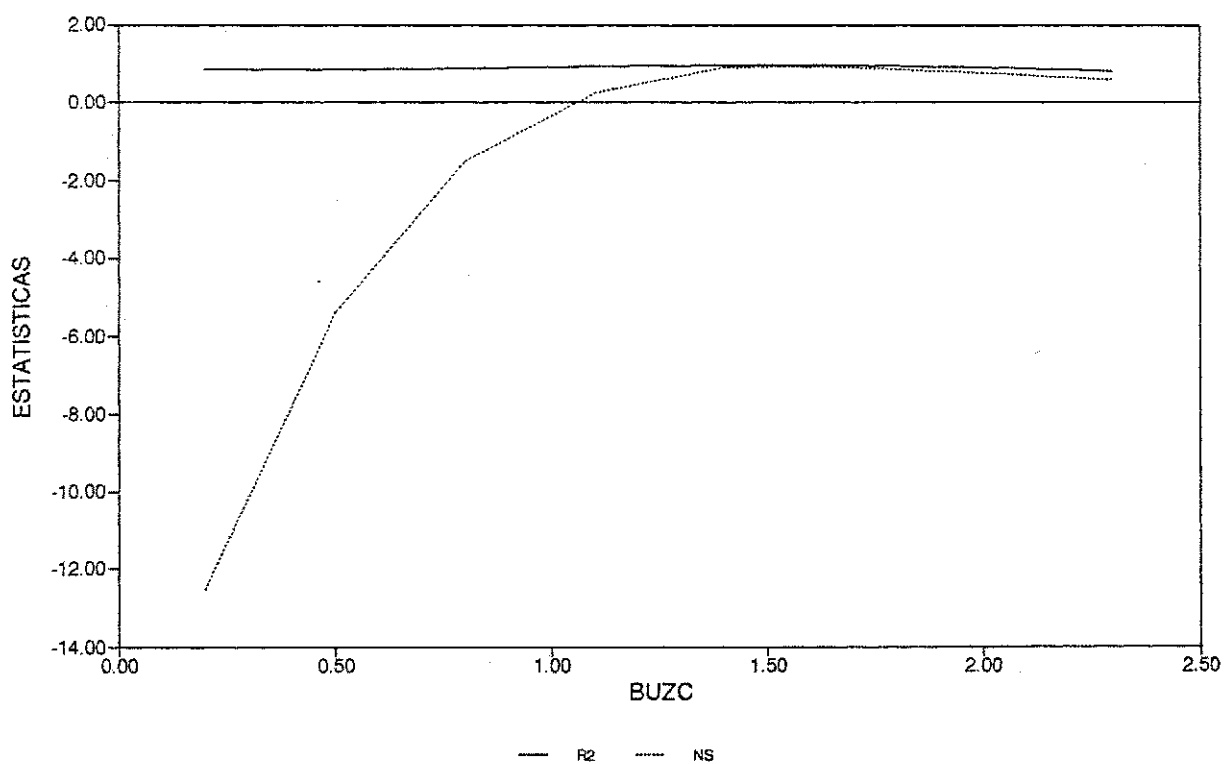


Figura A3.8 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BUZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

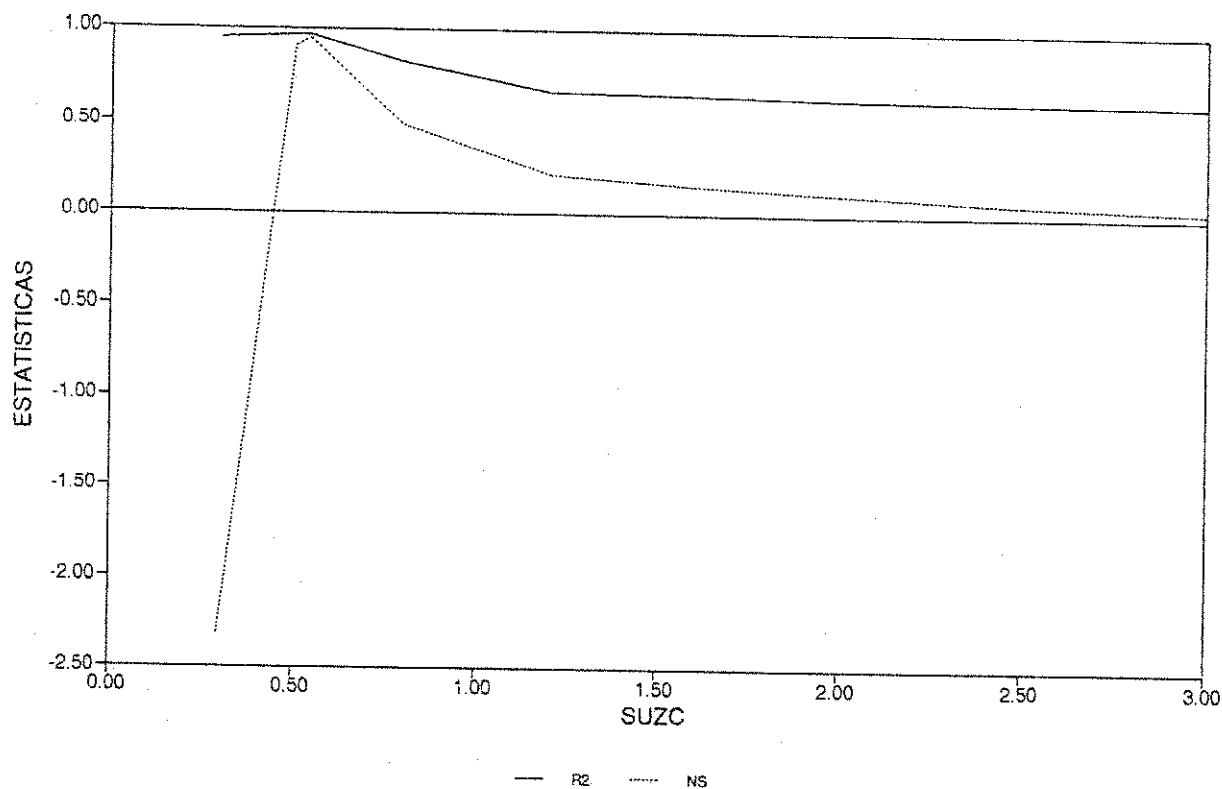


Figura A3.9 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **SUZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

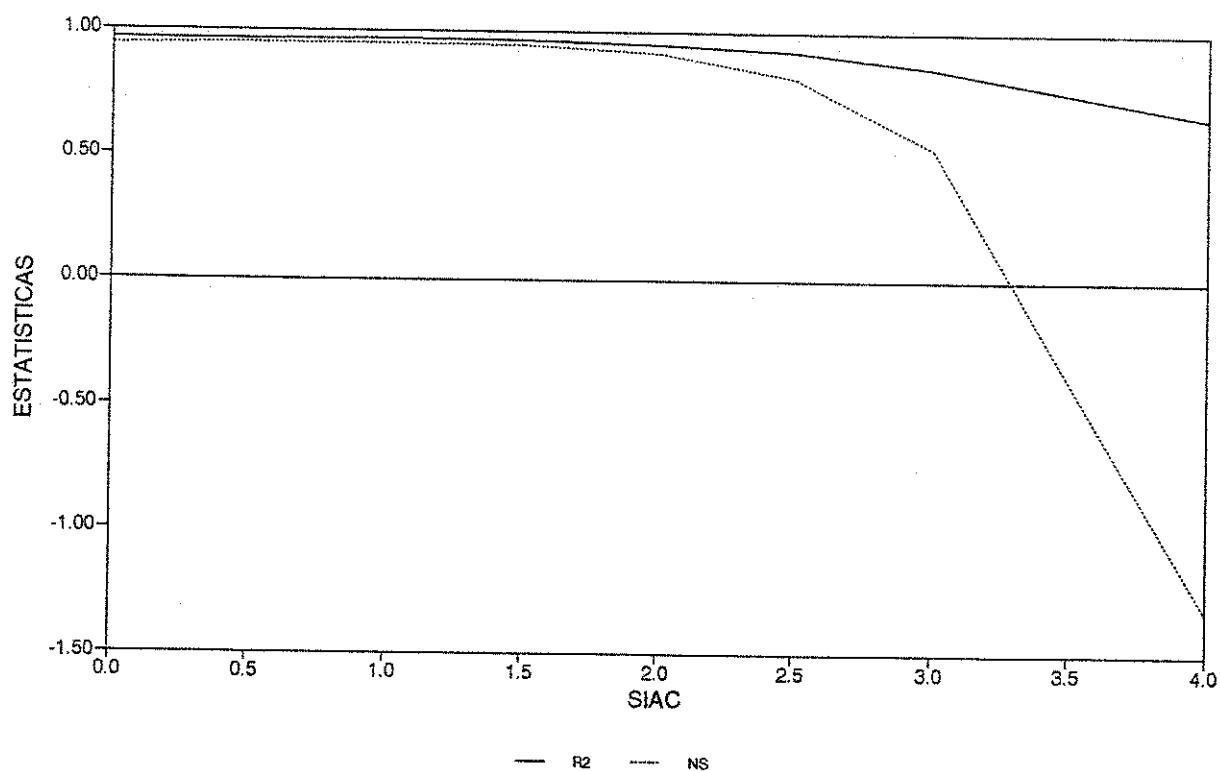


Figura A3.10 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **SIAC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

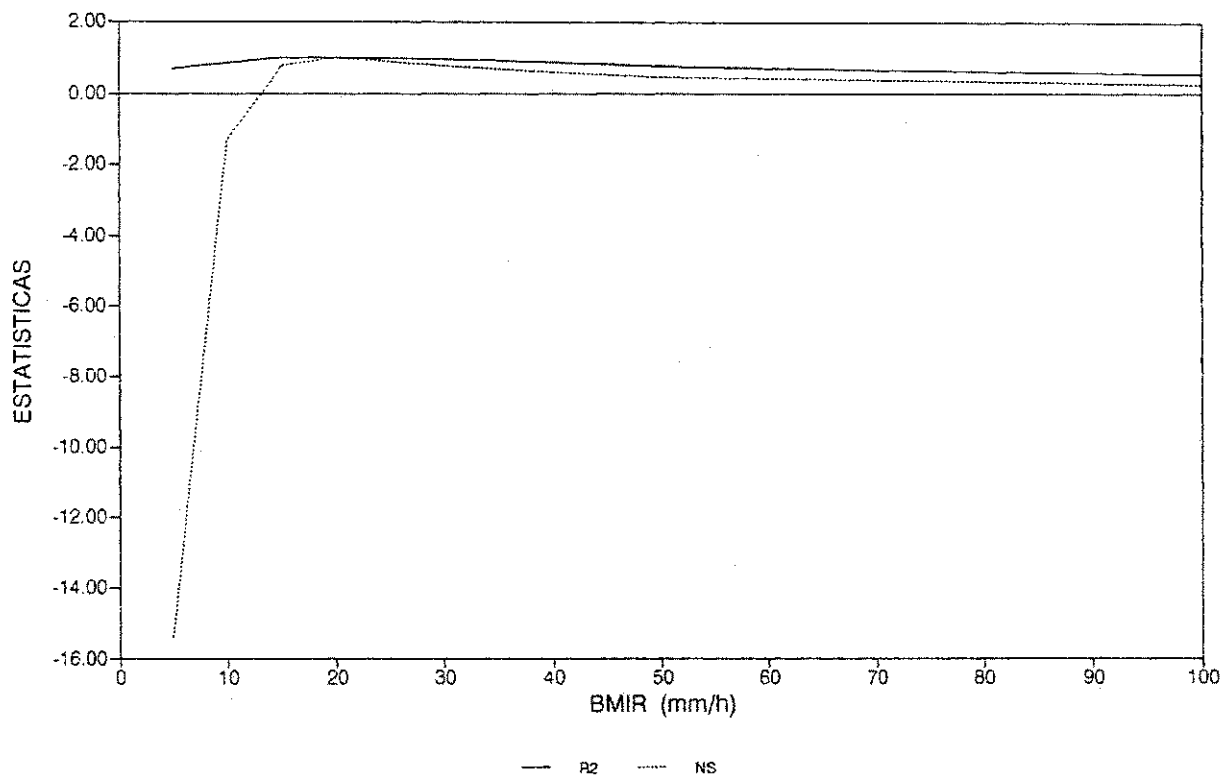


Figura A3.11 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BMIR**
 Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

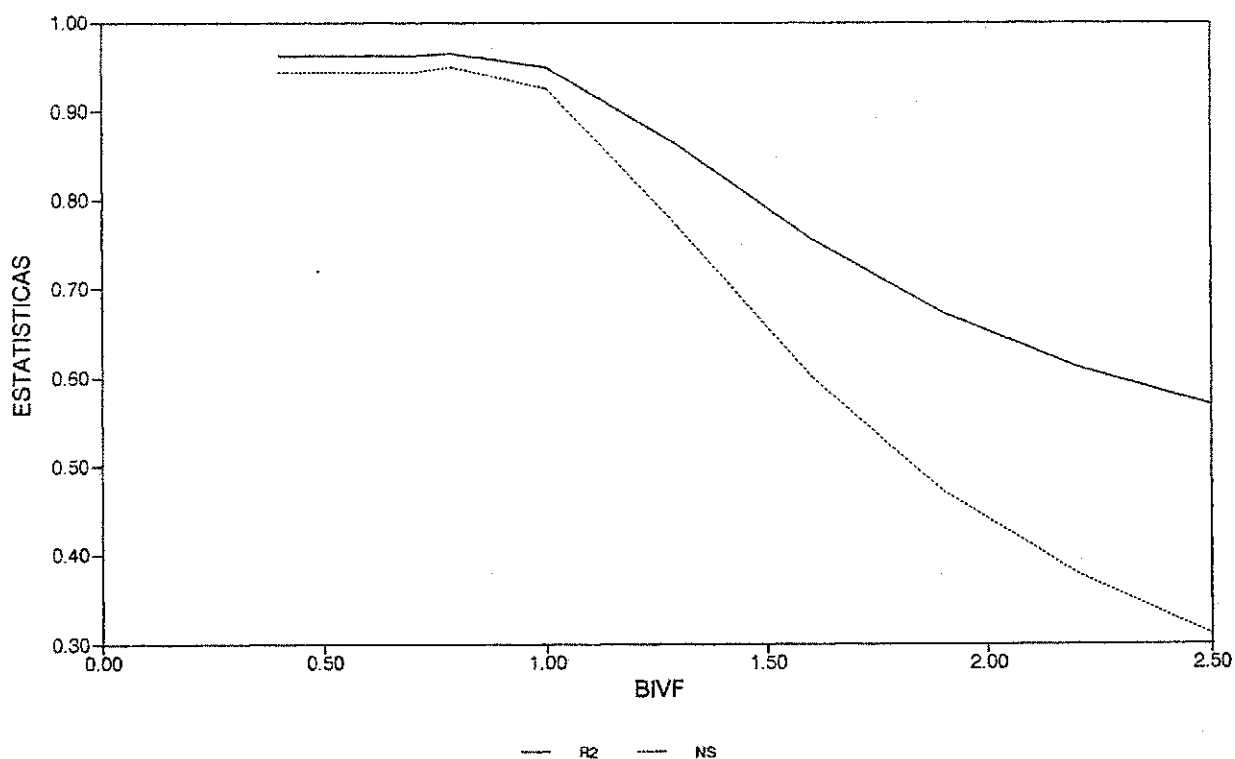


Figura A3.12 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BIVF**
 Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

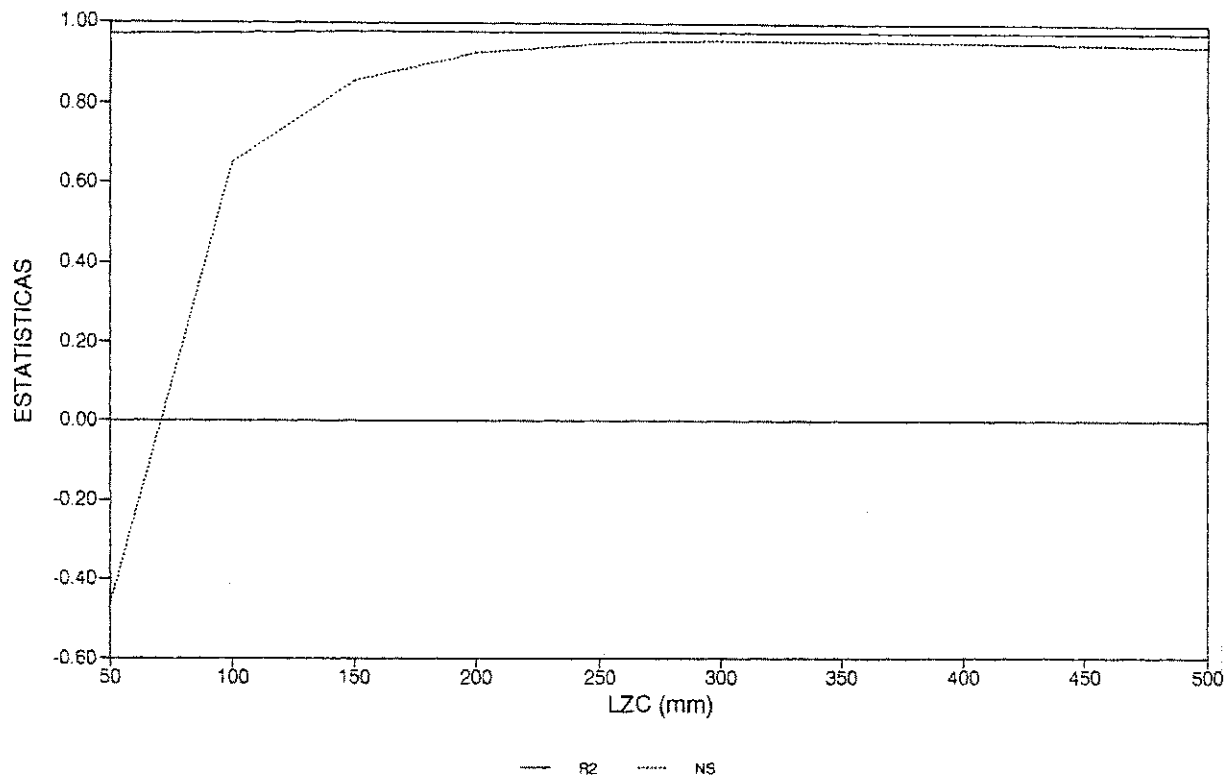


Figura A3.13 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **LZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

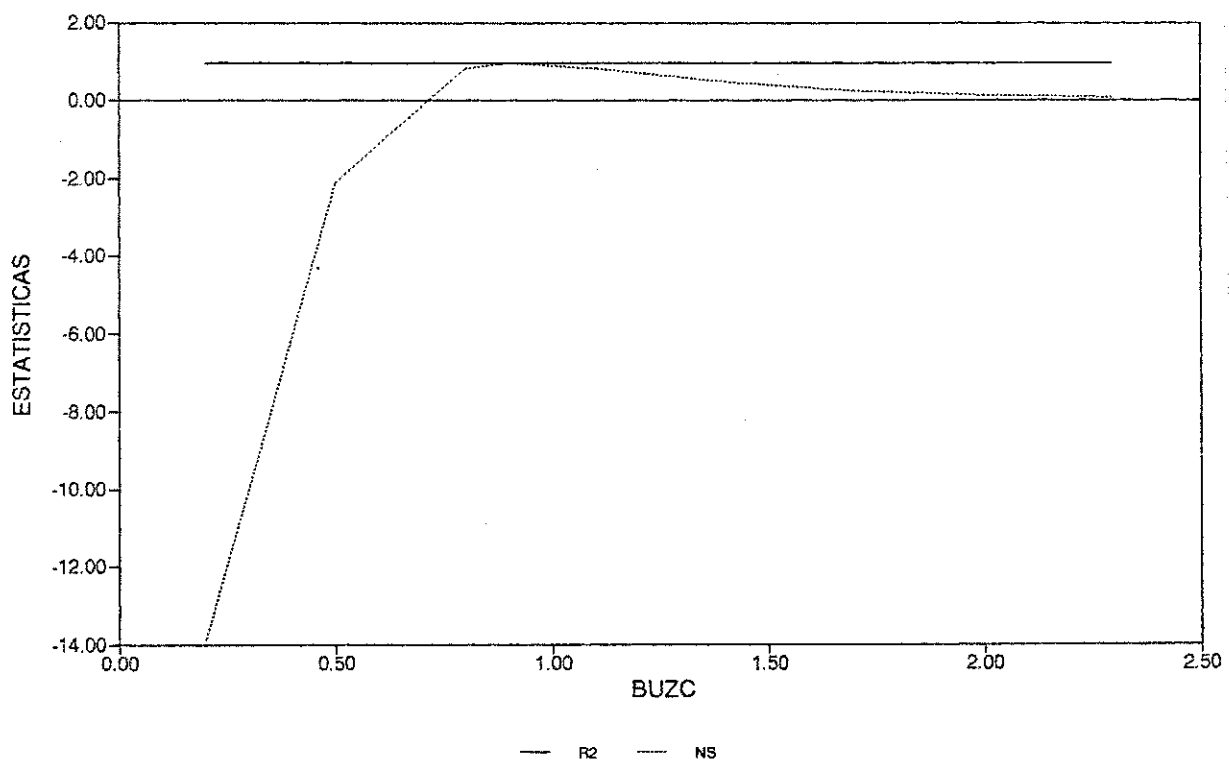


Figura A3.14 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BUZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

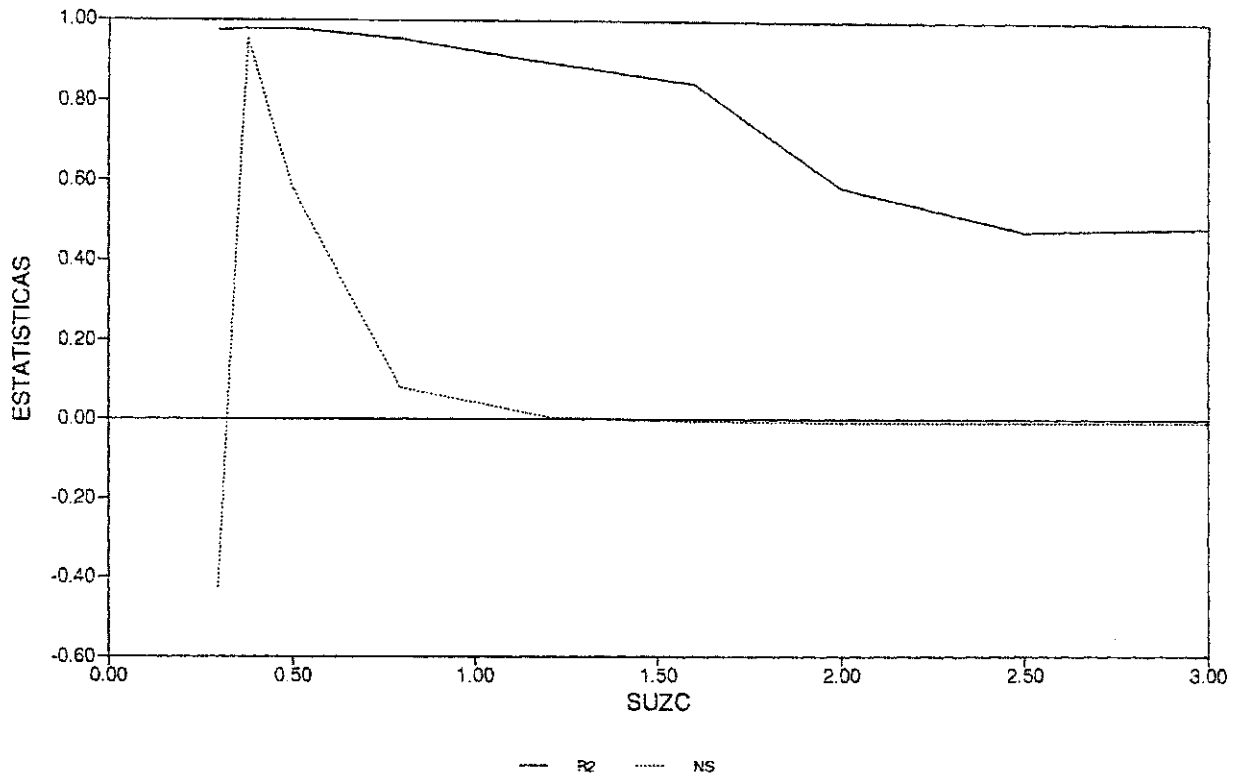


Figura A3.15 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **SUZC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

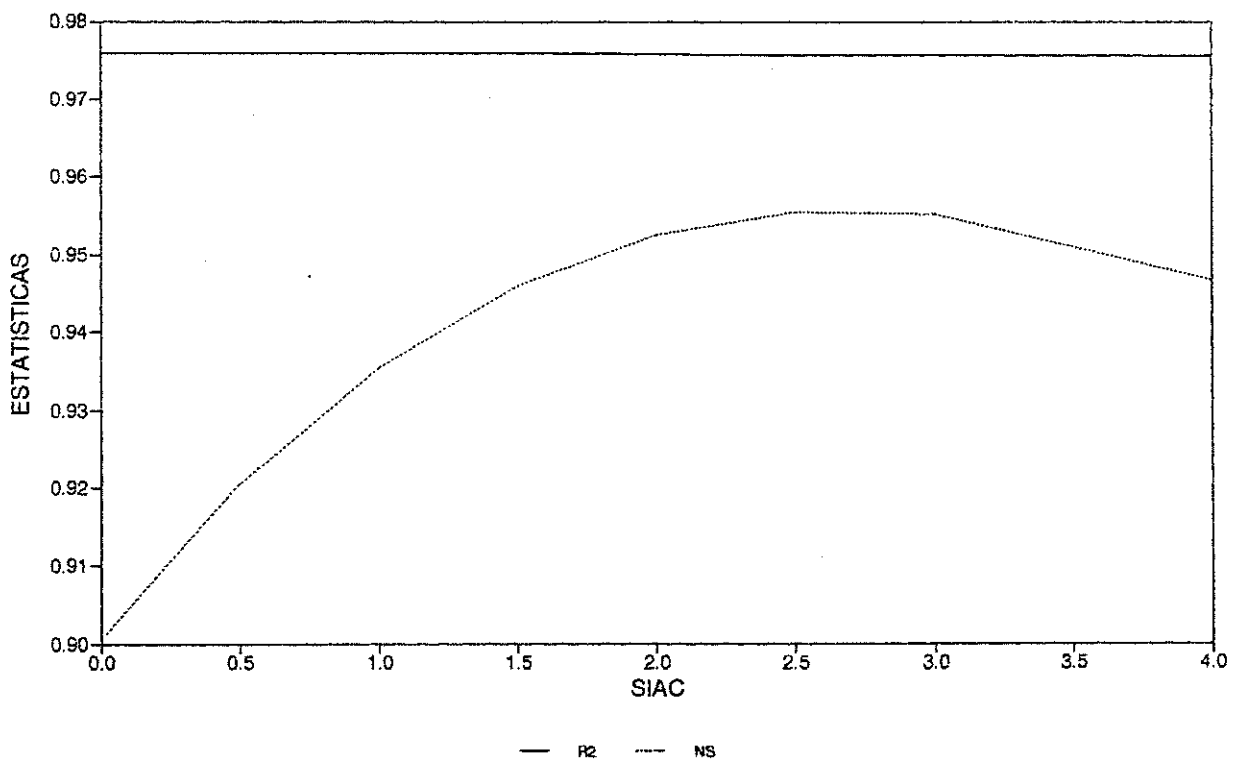


Figura A3.16 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **SIAC**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

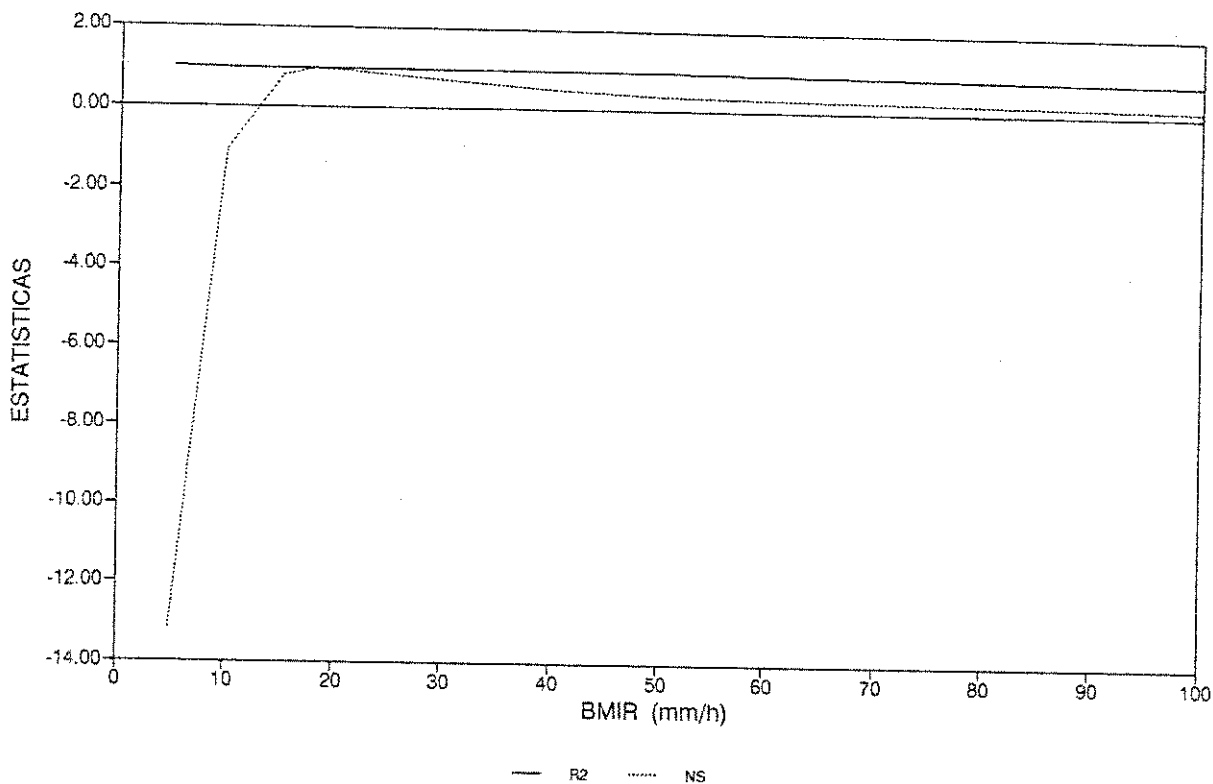


Figura A3.17 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BMIR**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

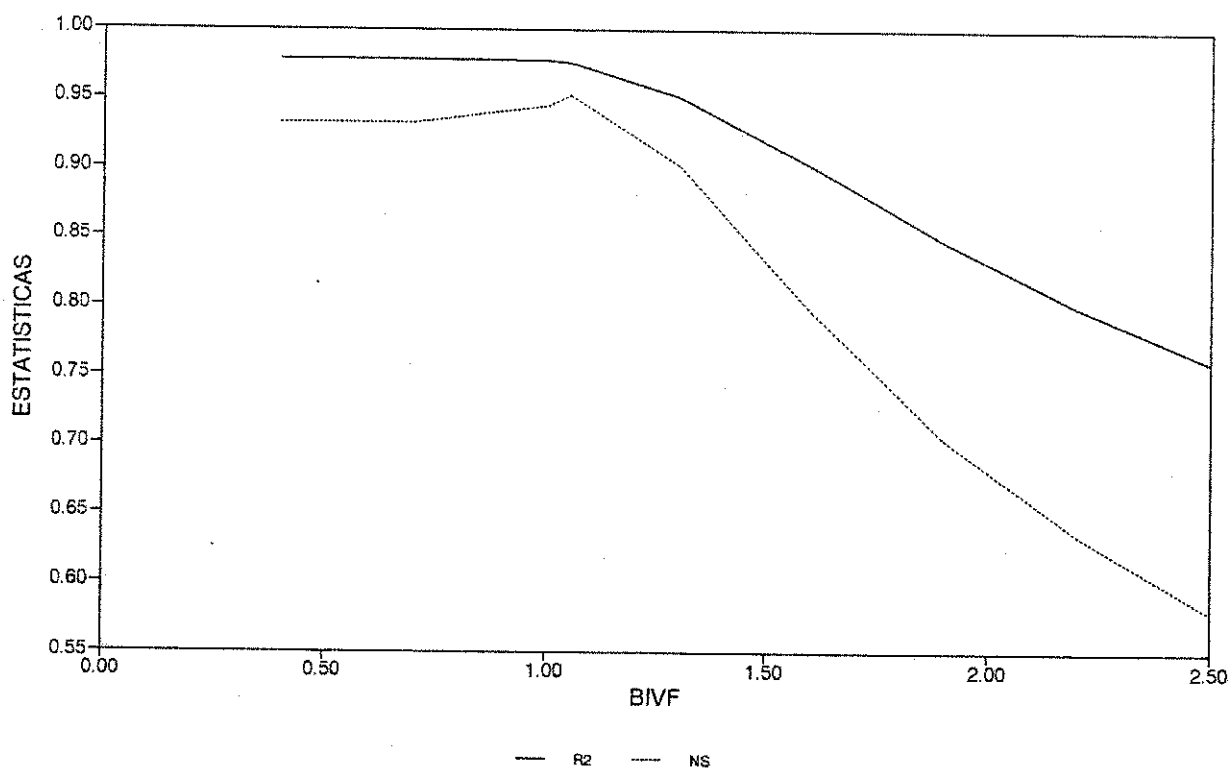


Figura A3.18 - Gráfico Estatísticas X Parâmetro **BIVF**
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

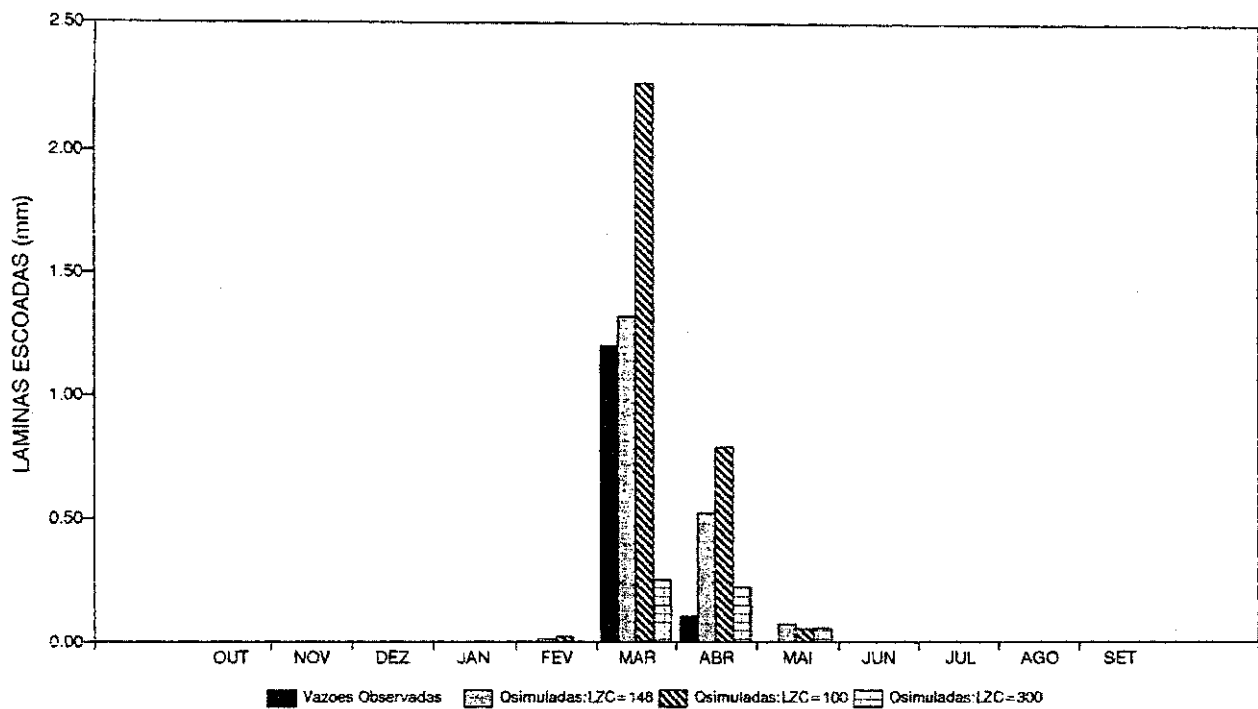


Figura A3.19 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Variações de **LZO** - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

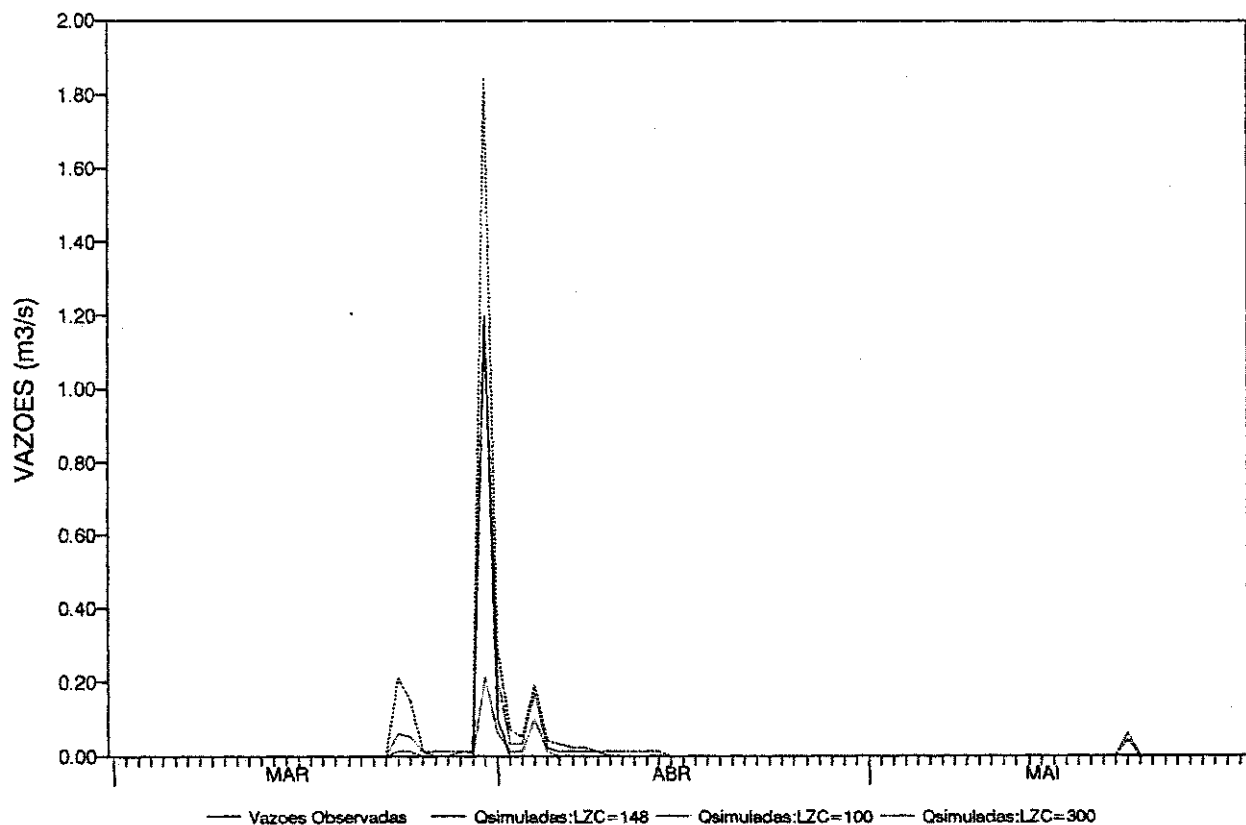


Figura A3.20 - Hidrogramas diários observado e simulados
Variações de **LZO** - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

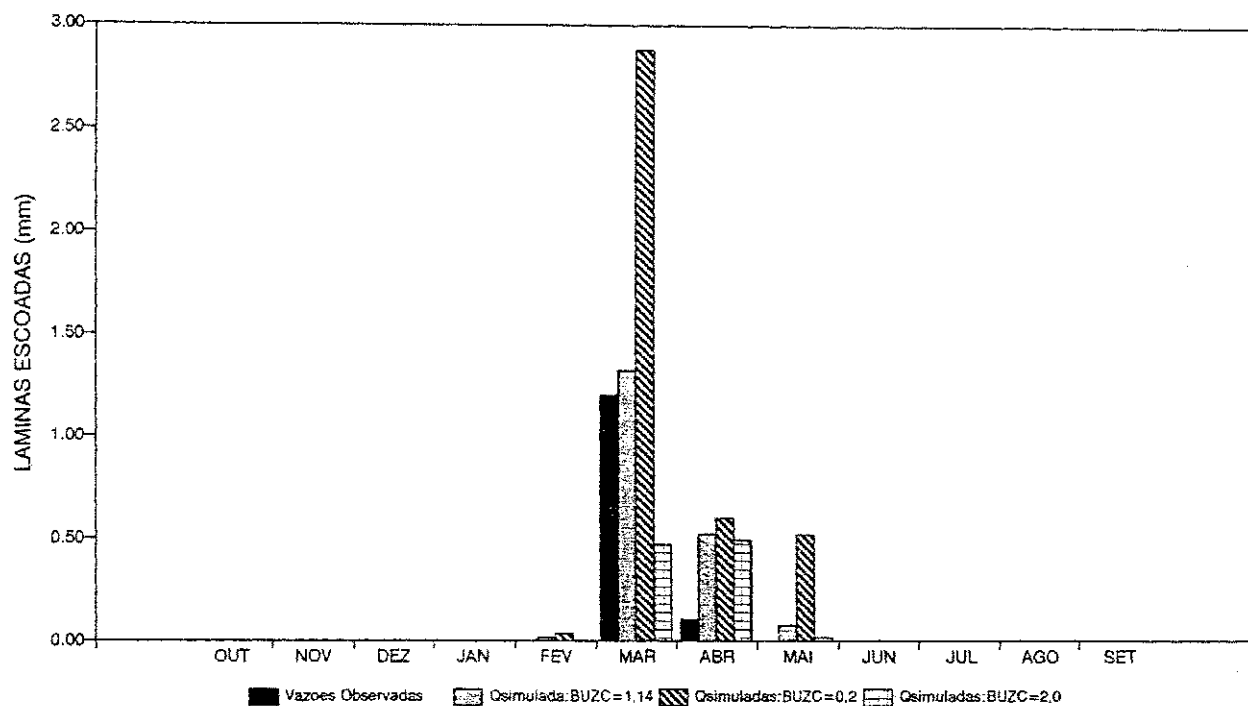


Figura A3.21 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Variações de **BUZC** - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

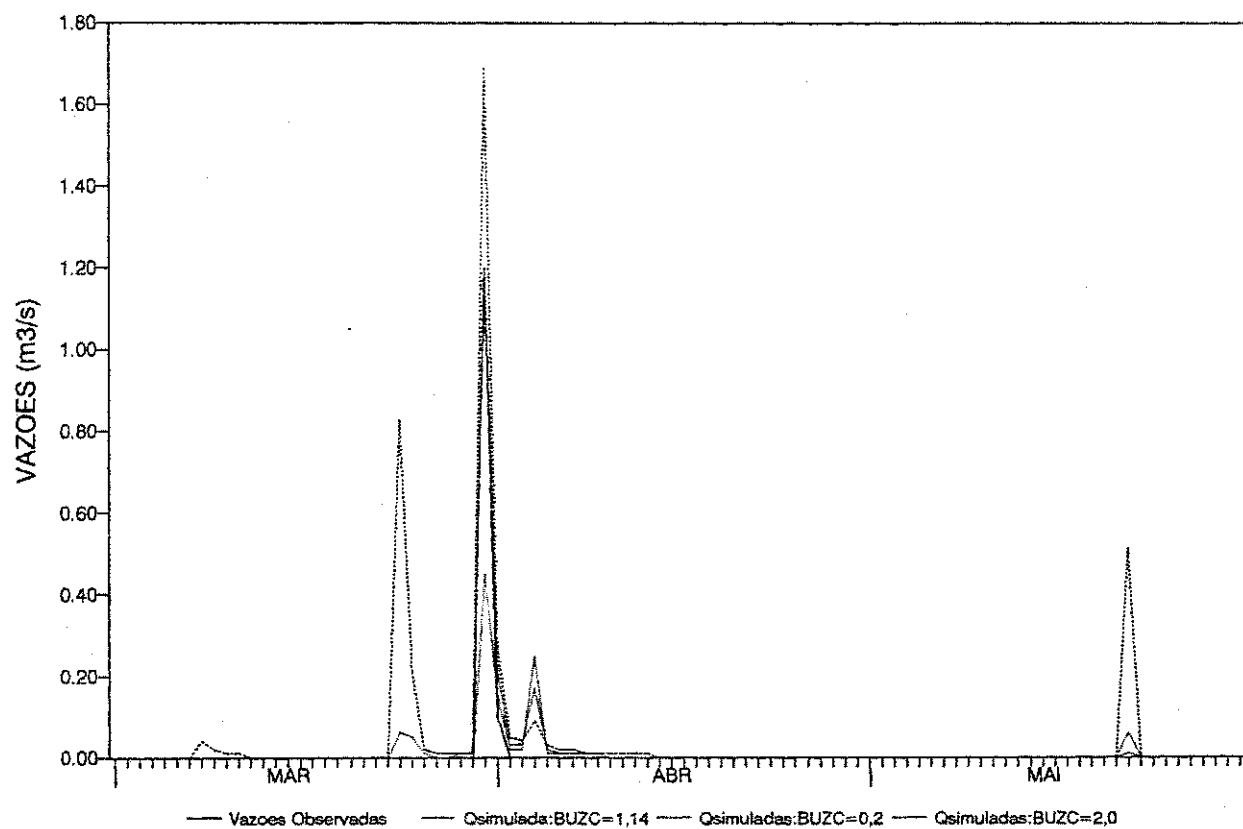


Figura A3.22 - Hidrogramas diários observado e simulado
 Variações de **BUZC** - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

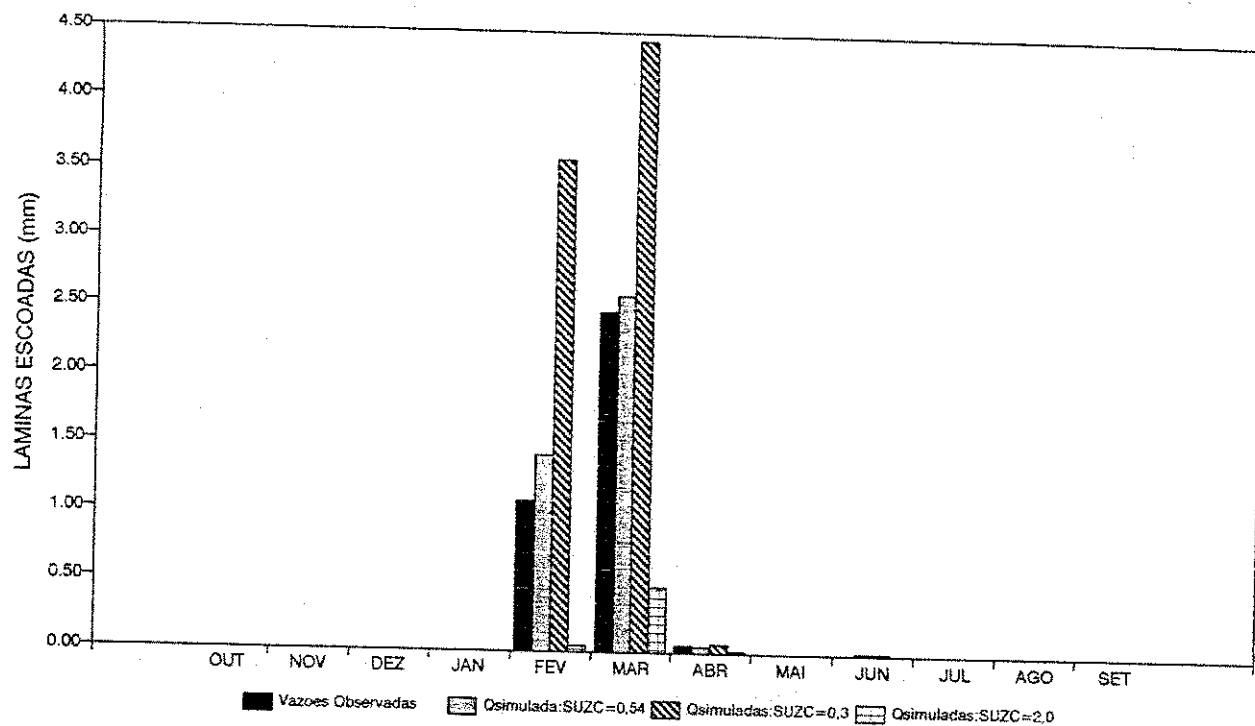


Figura A3.23 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Variações de **SUZC** - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

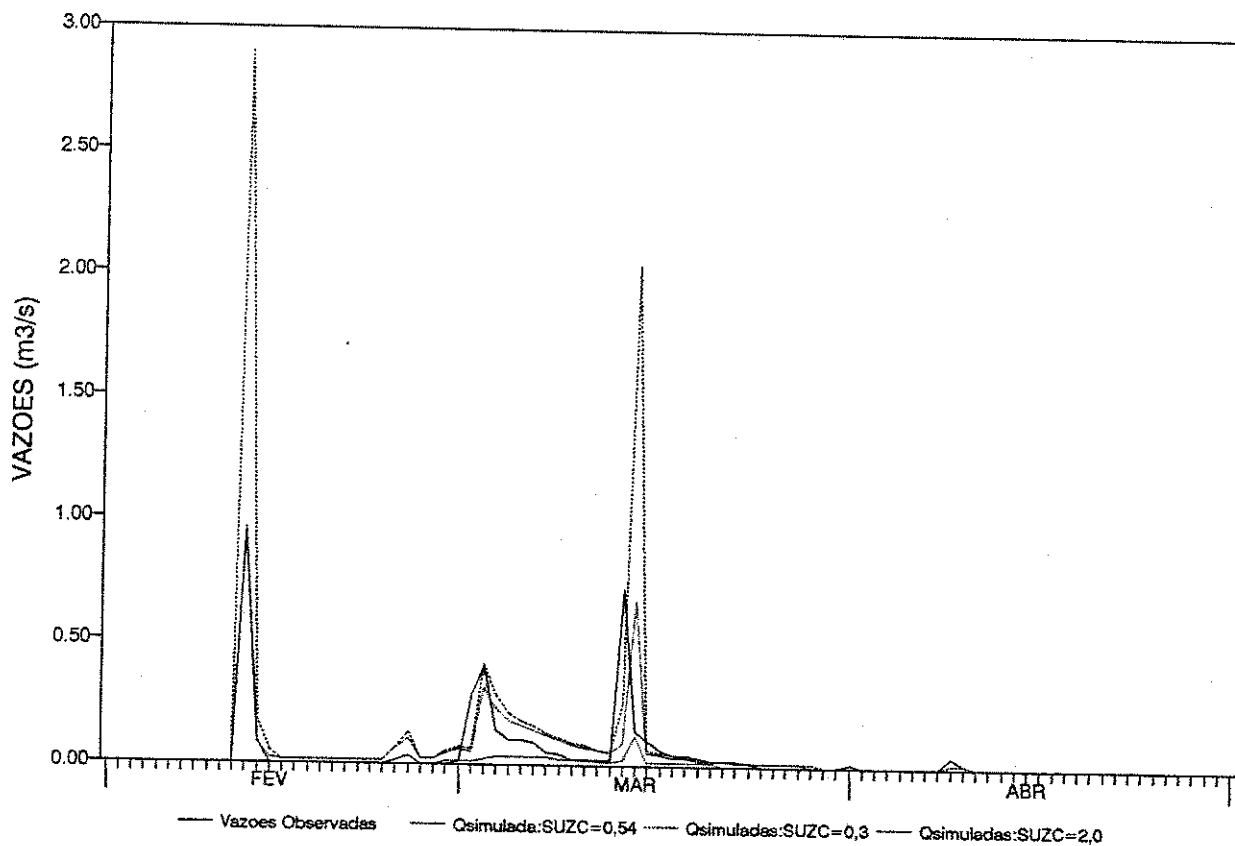


Figura A3.24 - Hidrogramas diários observado e simulados
Variações de **SUZC** - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

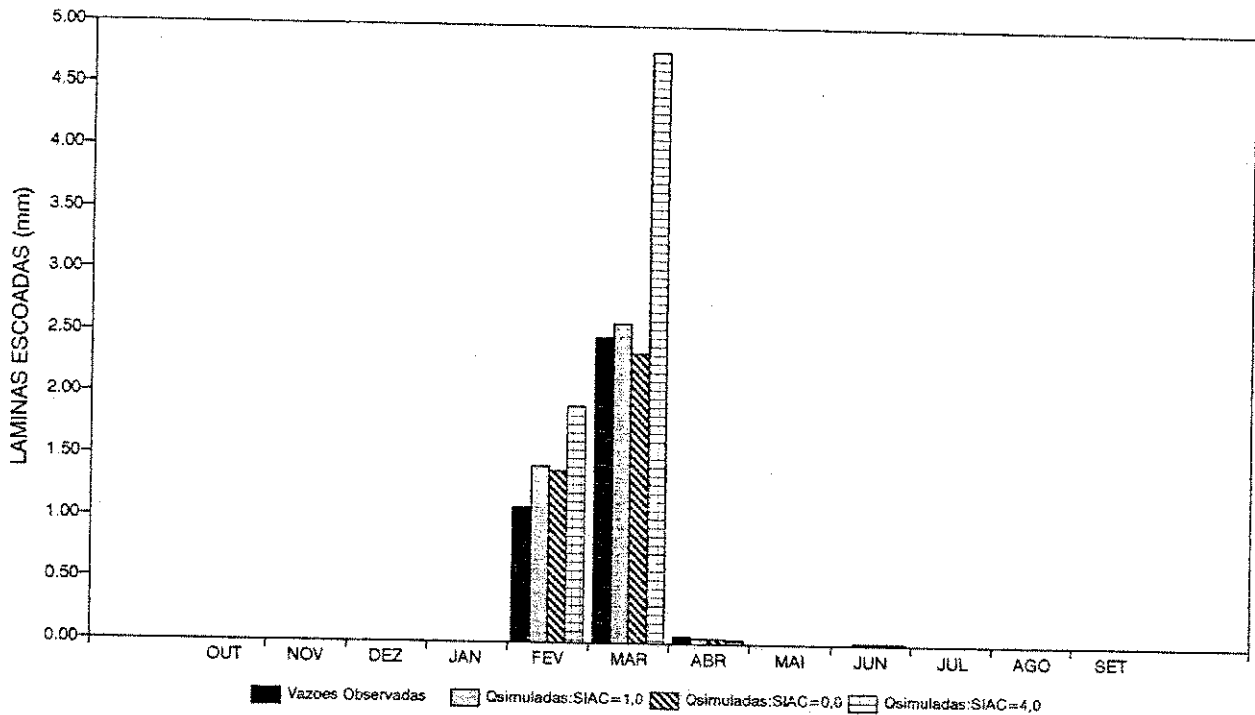


Figura A3.25 - Histogramas de lâminas médias escoadas
Variações de **SIAC** - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

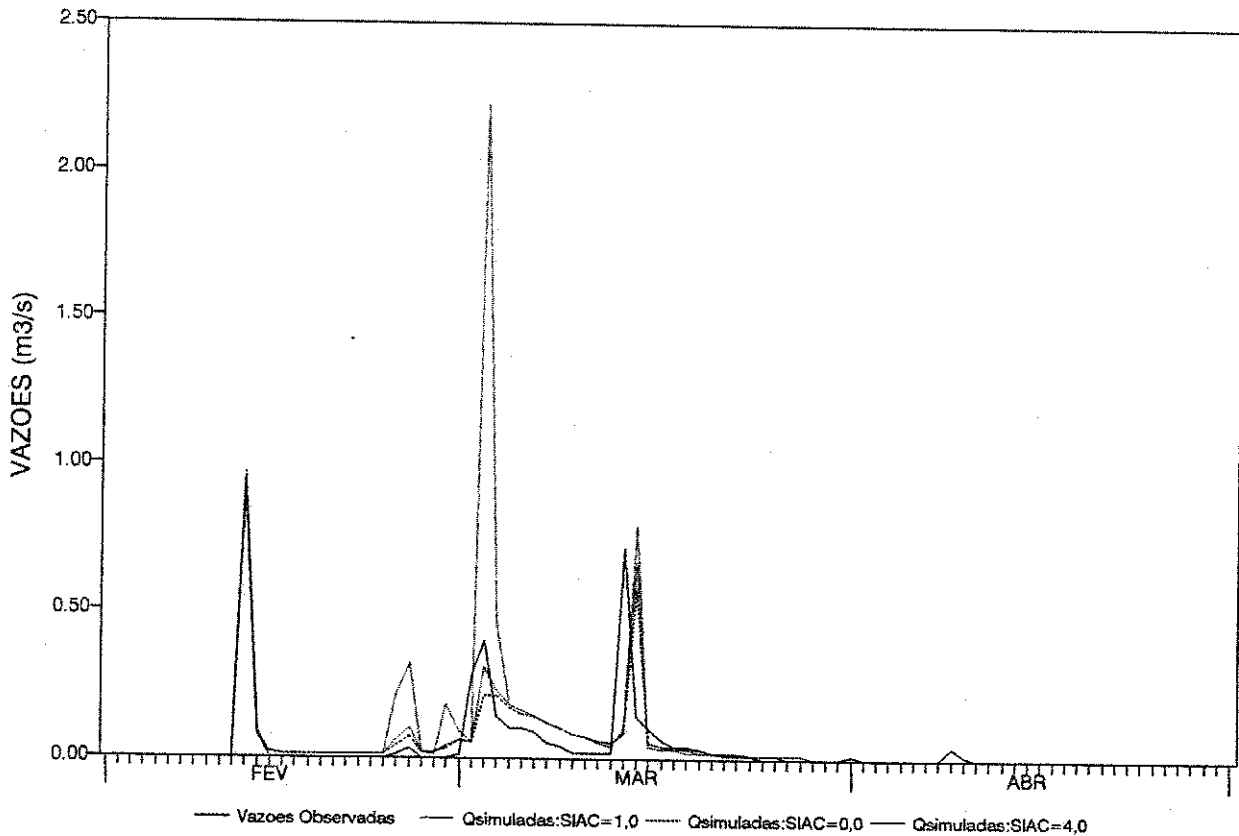


Figura A3.26 - Hidrogramas diários observado e simulado
Variações de **SIAC** - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

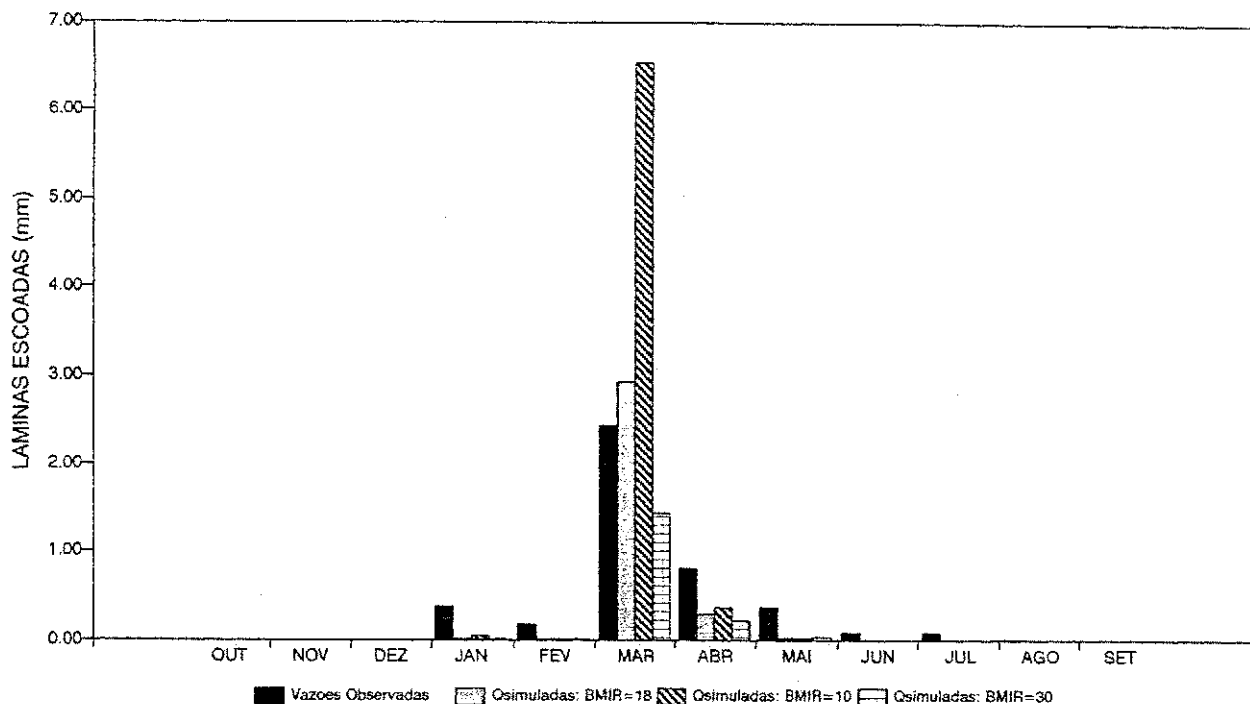


Figura A3.27 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Variações de **BMIR** - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

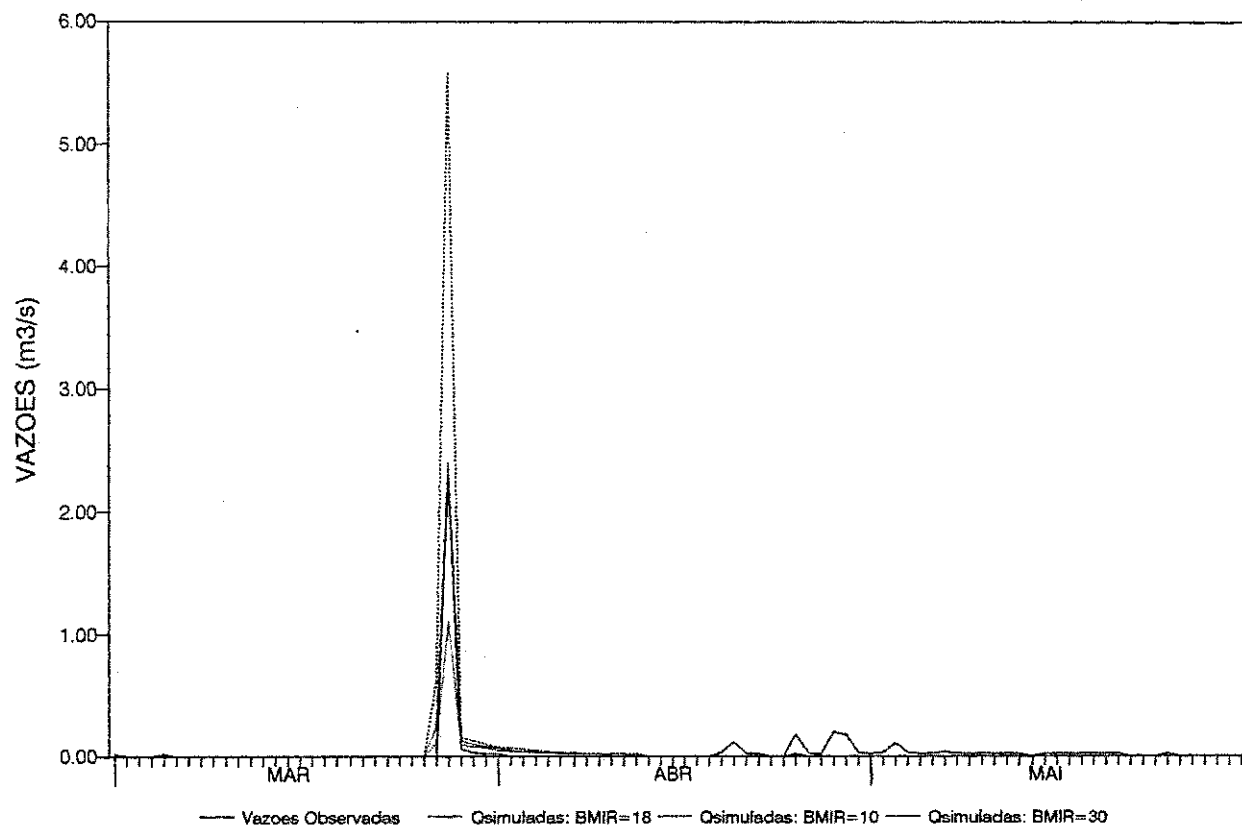


Figura A3.28 - Hidrogramas diários observado e simulados
 Variações de **BMIR** - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

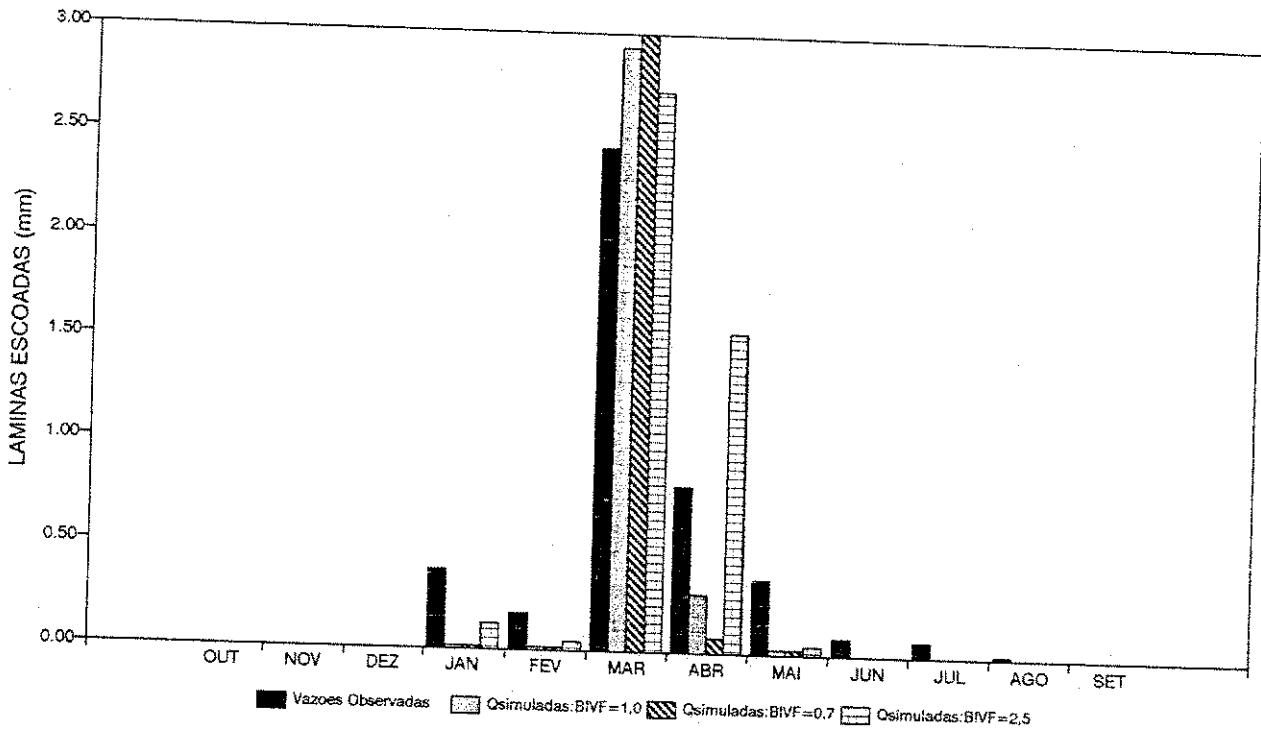


Figura A3.29 - Histogramas de lâminas médias escoadas
 Variações de **BIVF** - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

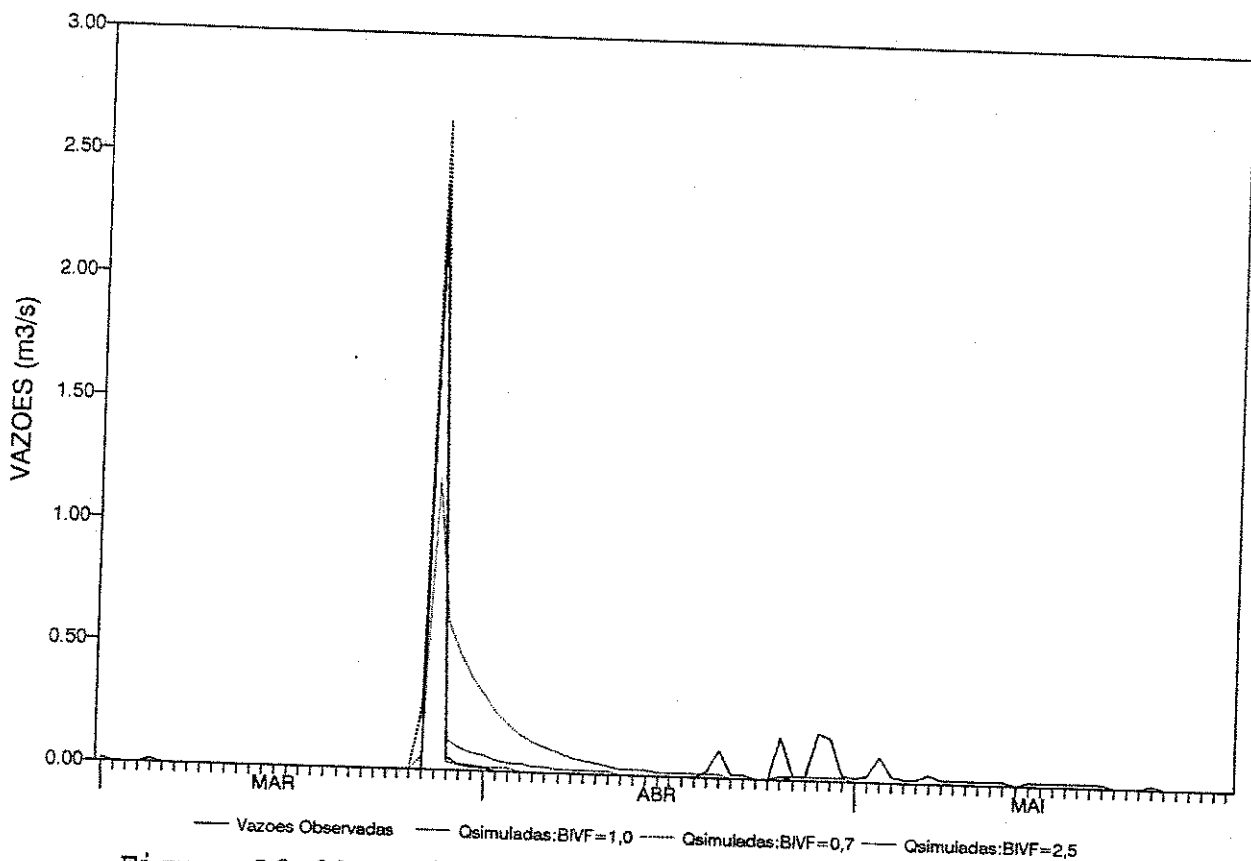


Figura A3.30 - Hidrogramas diários observado e simulados
 Variações de **BIVF** - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

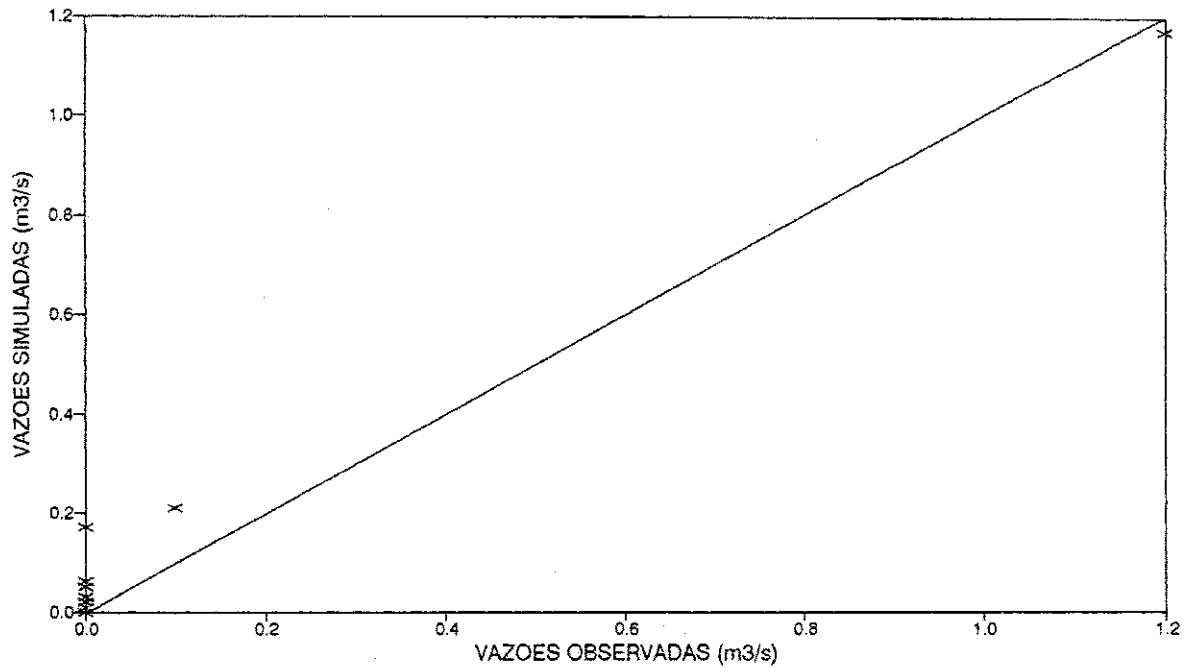


Figura A3.31 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 75/76

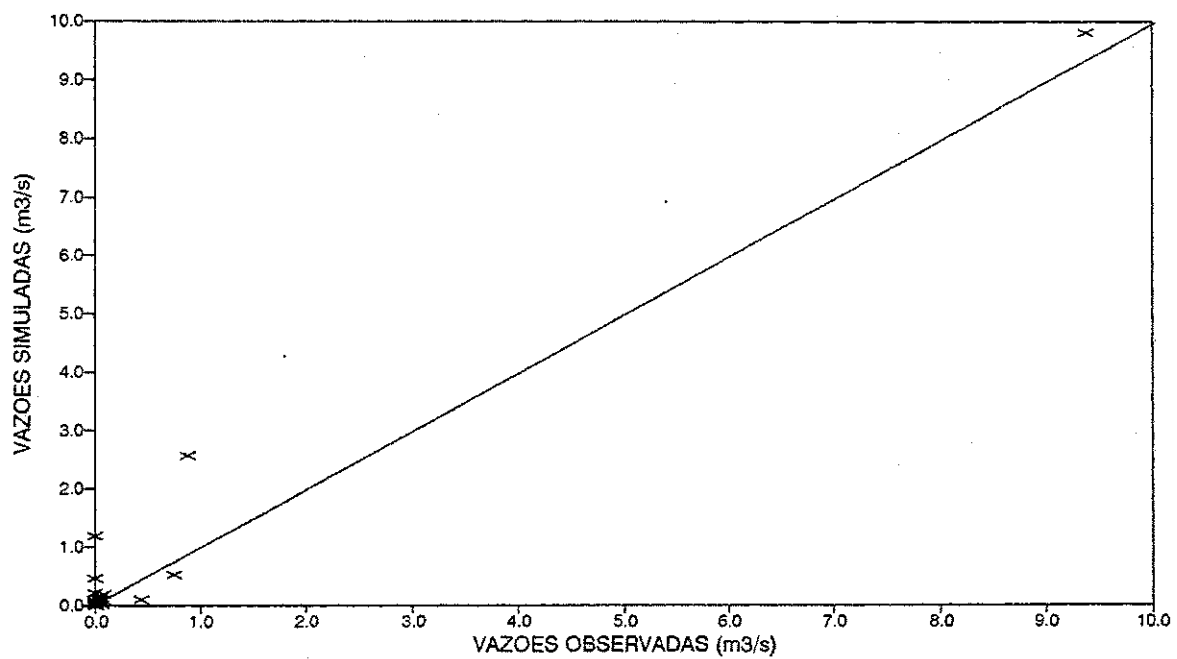


Figura A3.32 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 76/77

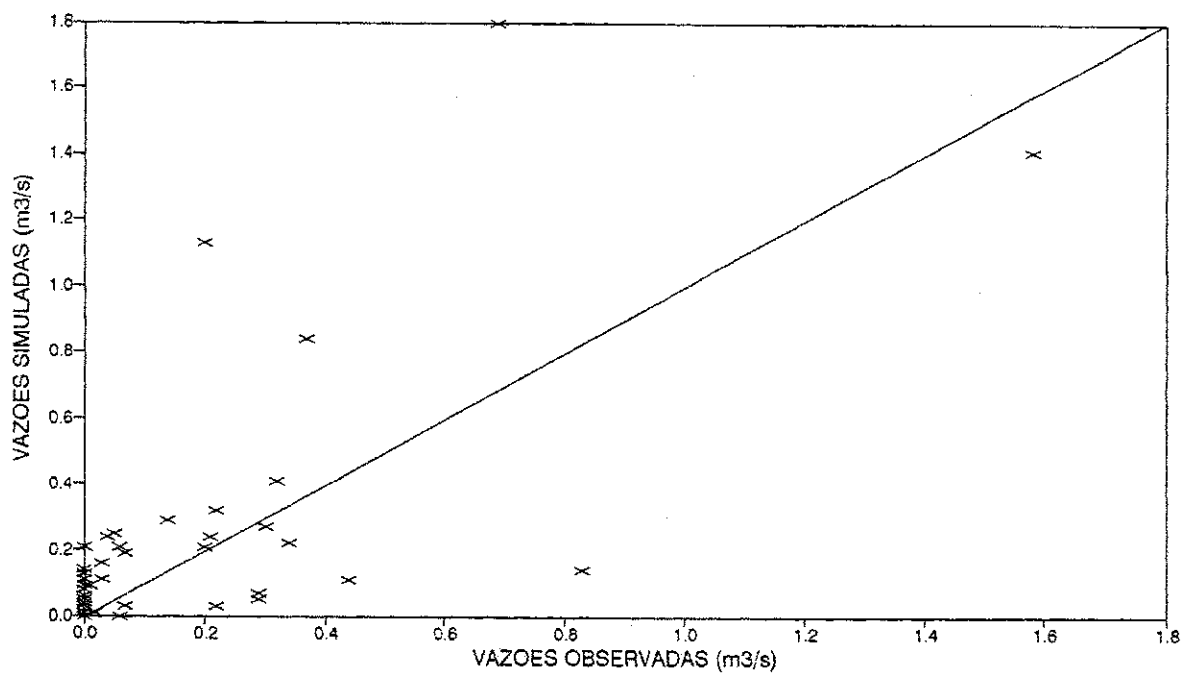


Figura A3.33 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 77/78

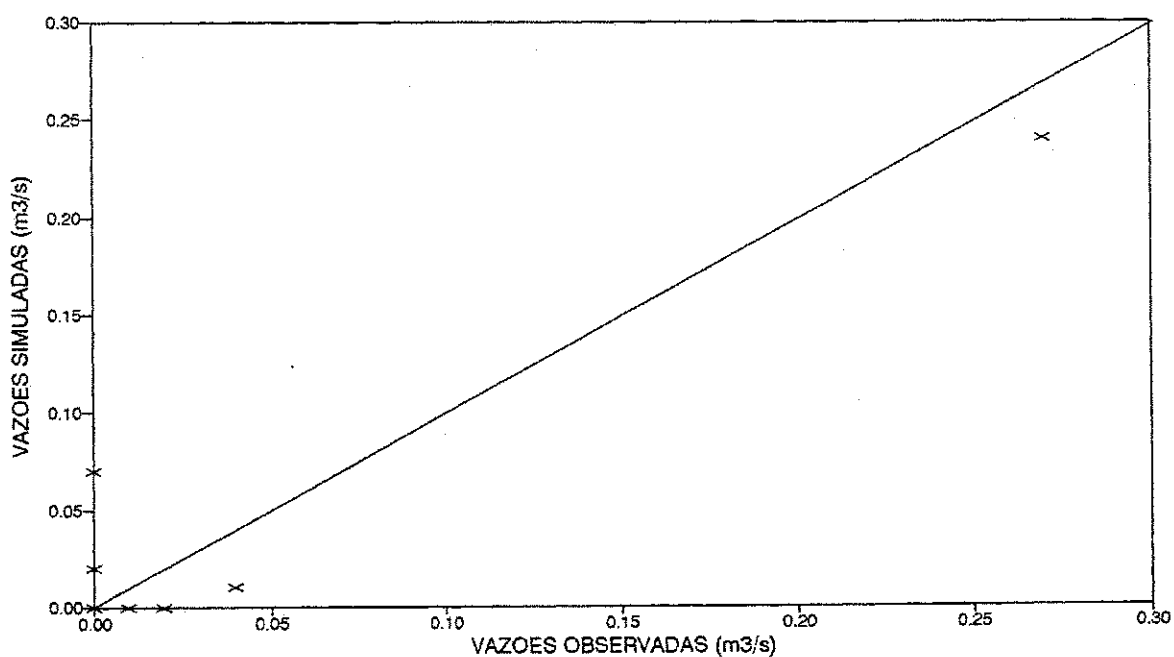


Figura A3.34 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Umburana - Ano: 78/79

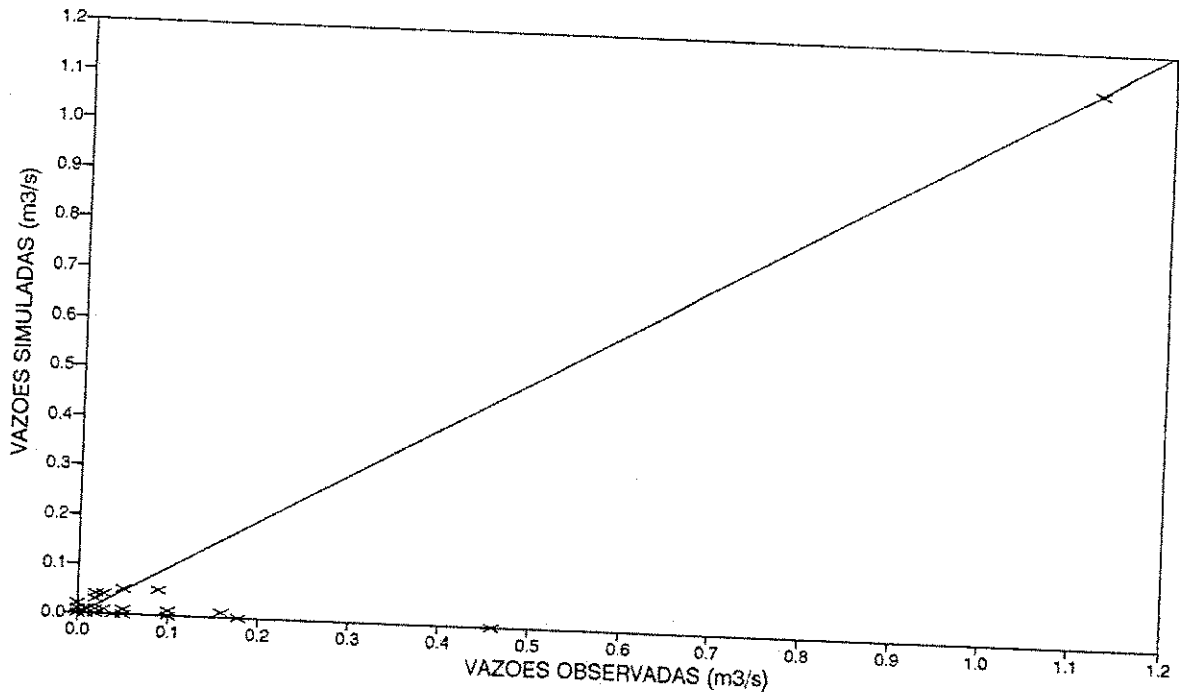


Figura A3.35 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 75/76

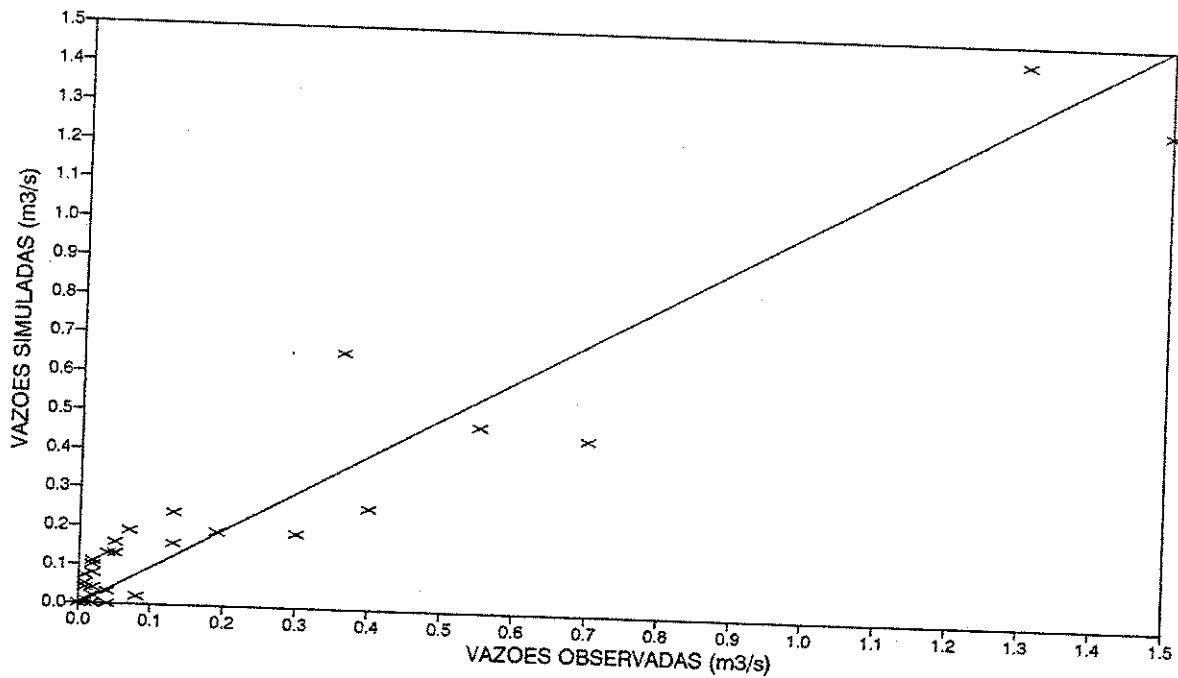


Figura A3.36 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 76/77

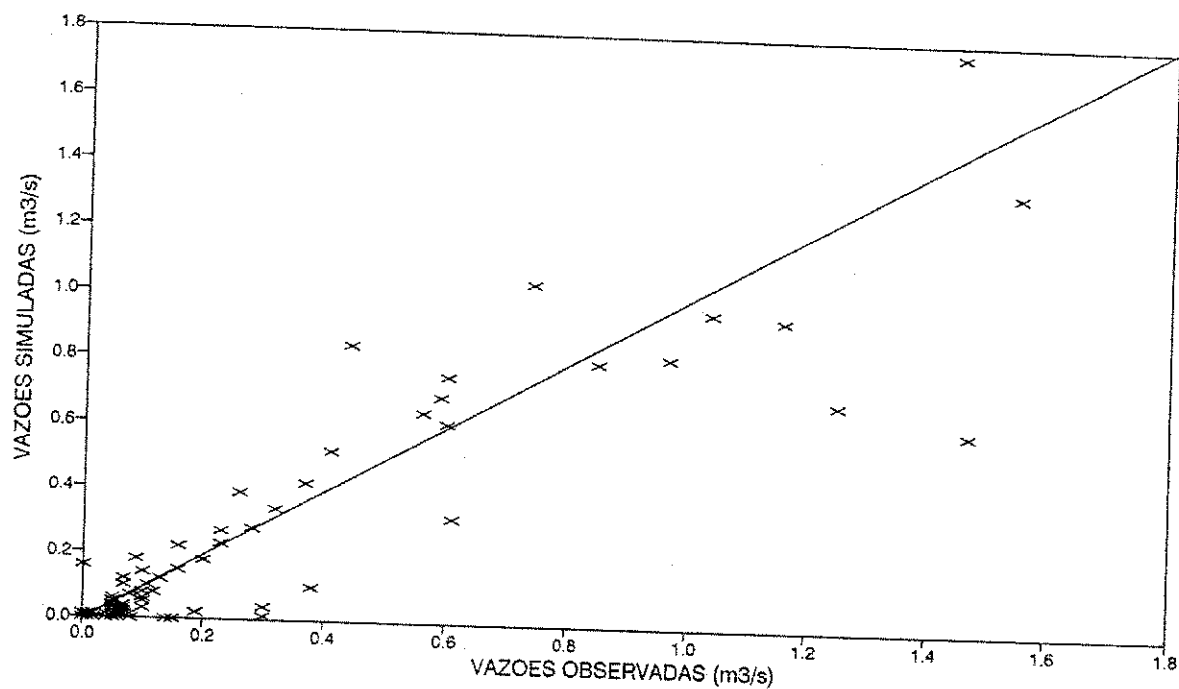


Figura A3.37 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 77/78

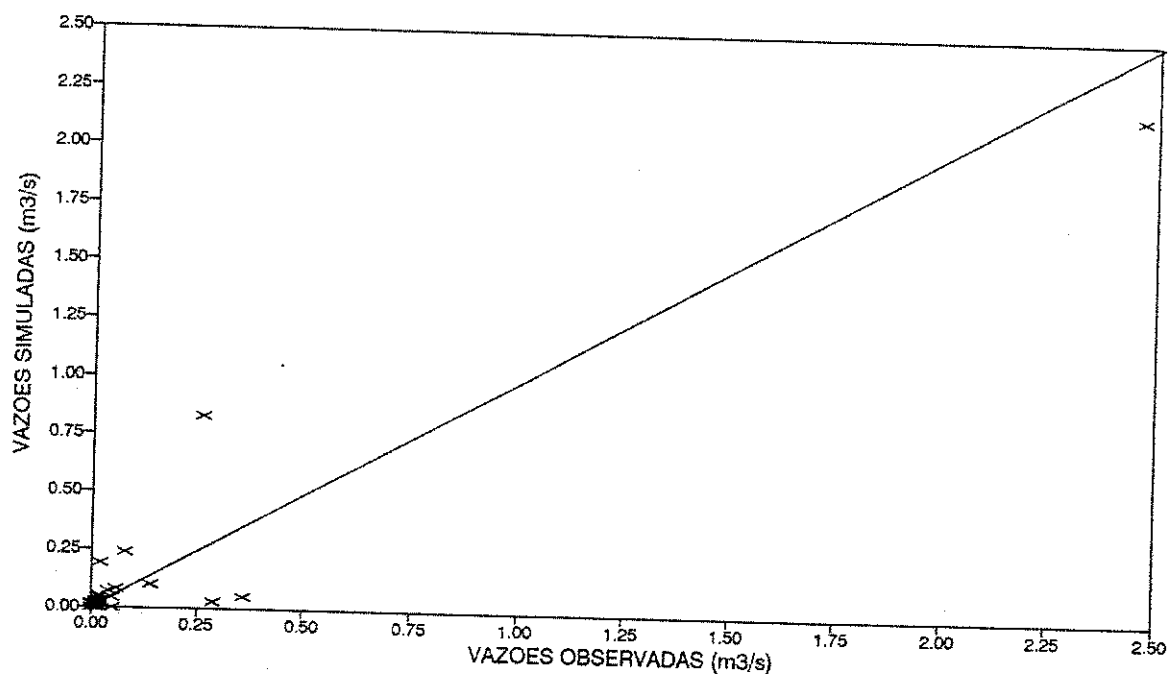


Figura A3.38 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 78/79

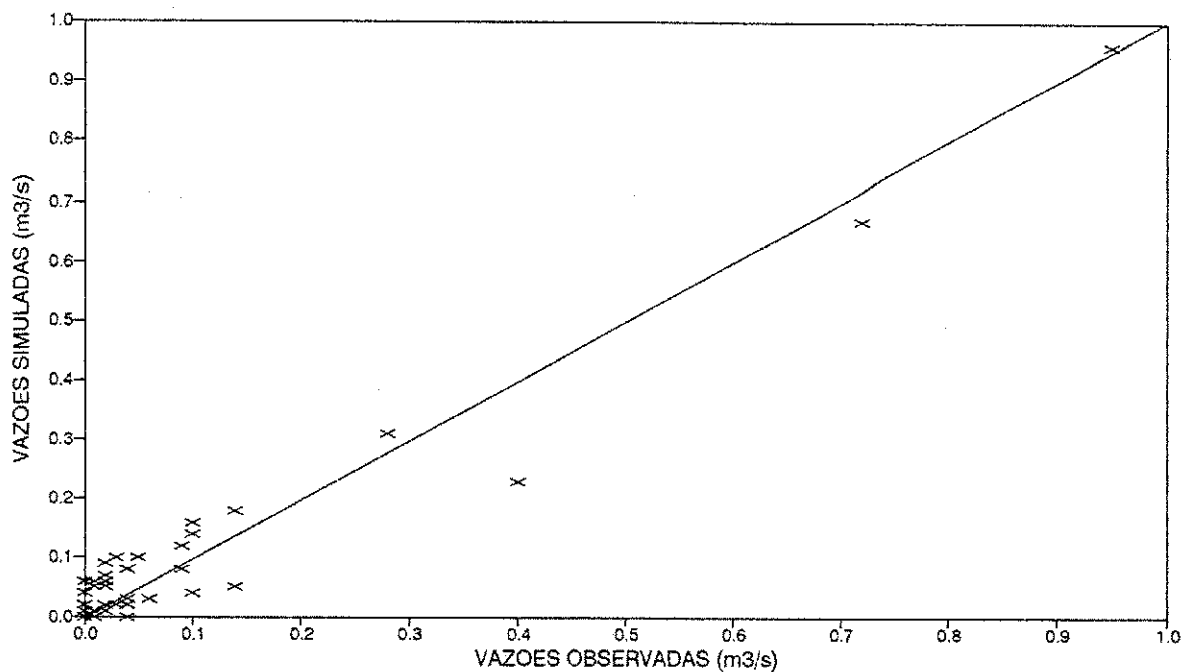


Figura A3.39 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Jatobá - Ano: 79/80

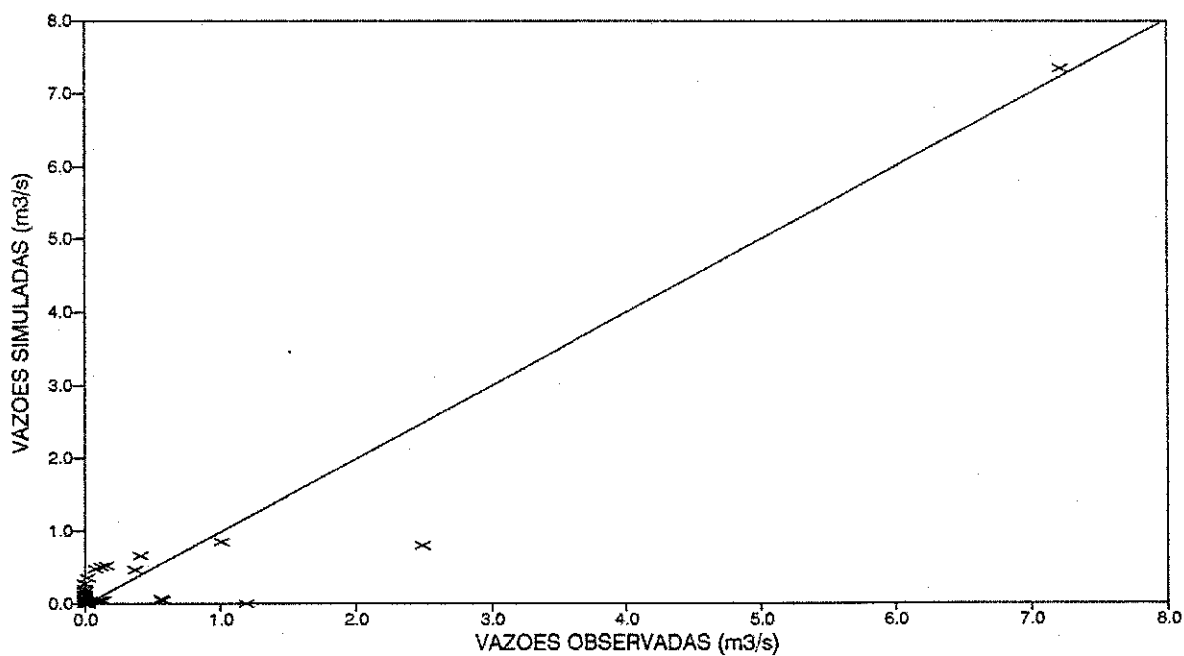


Figura A3.40 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 75/76

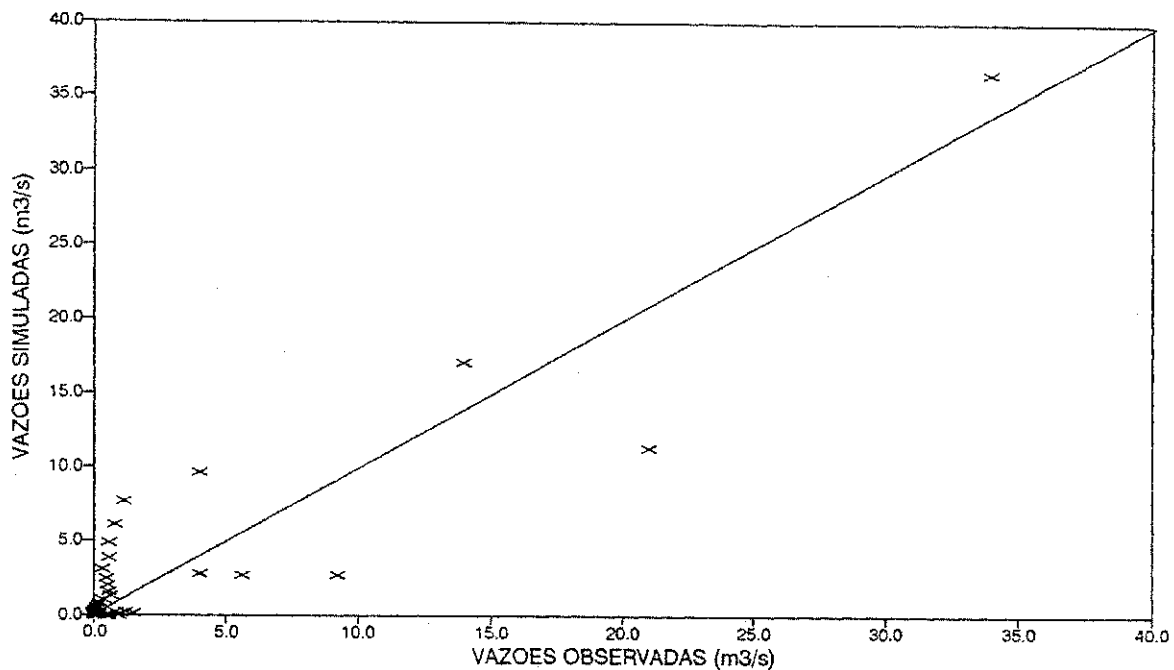


Figura A3.41 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 76/77

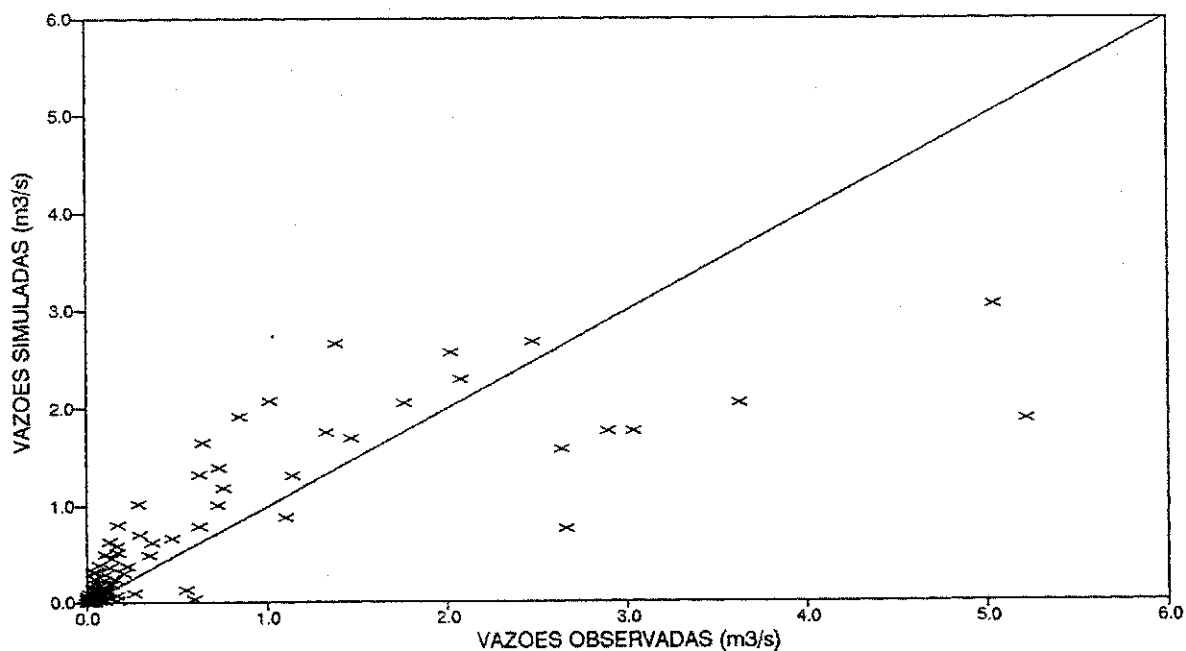


Figura A3.42 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 77/78

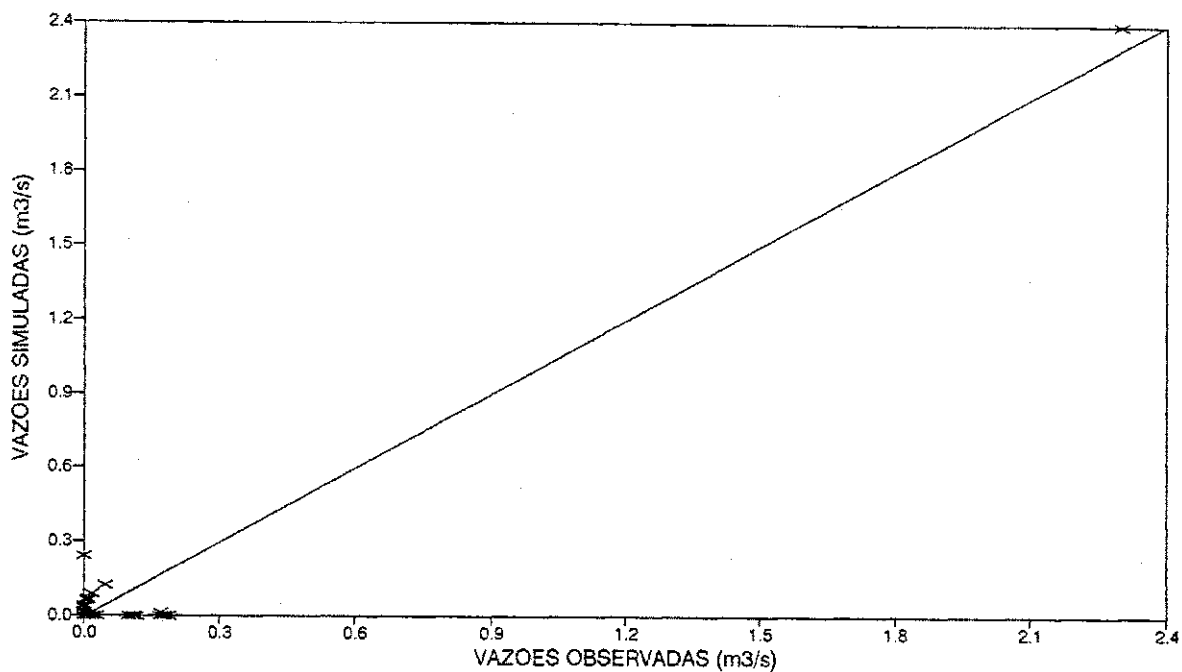


Figura A3.43 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 78/79

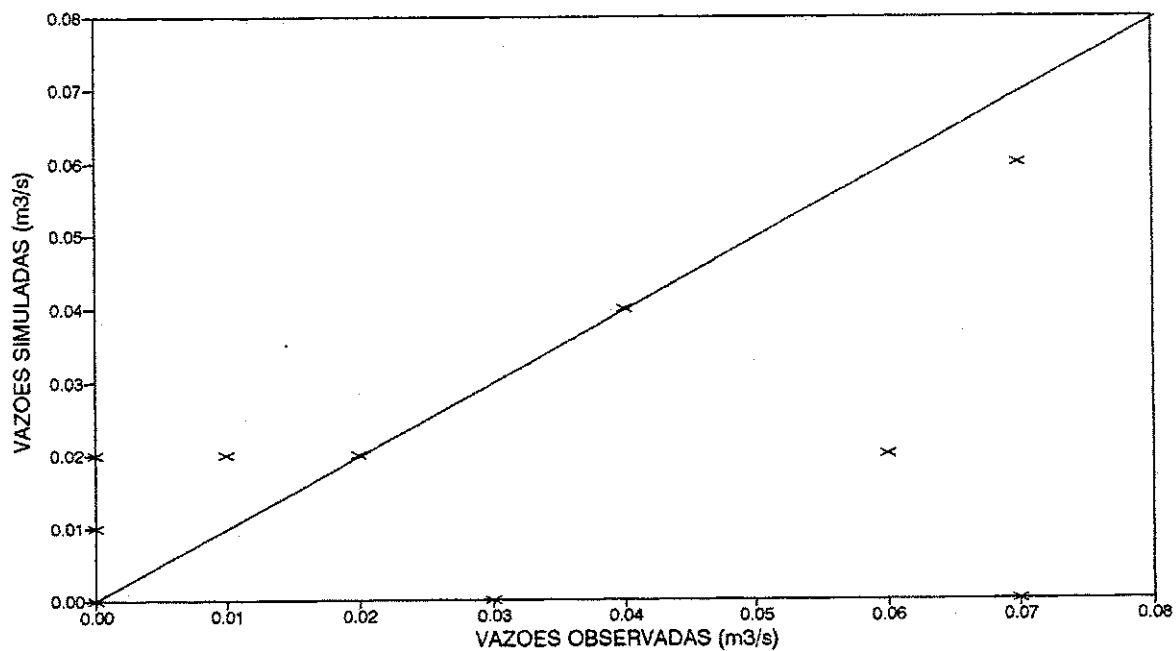


Figura A3.44 - Diagrama de dispersão Q simuladas X Q observadas
Parâmetros anuais - Sub-bacia: Gangorra - Ano: 79/80

ANEXO 4**EXEMPLOS DE SAÍDAS DO MODELO EM SUMÉ/PB**

1. Saídas do modelo referentes ao melhor ano simulado em cada sub-bacia	
. Simulação em Umburana - Ano: 1975-76	167
. Simulação em Jatobá - Ano: 1979-80	169
. Simulação em Gangorra - Ano: 1978-79.....	171

SUB-BACIA UMBURANA, SUME
HYDROLOGIC SIMULATION FOR 1975-76

MONTHLY SUMMARY TABLES FOR FLOW SIMULATION IN ZONE 1

OVERLAND	.00	.00	.00	.00	.00	.45	.05	.02	.00	.00	.00	.00	.52IN
INTERFLW	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00IN
BASEFLOW	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.08IN
STRMEVAP	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00IN
STRMFLOW	.00	.00	.00	.00	.00	.47	.11	.02	.00	.00	.00	.00	.61IN
PRECIP	.00	.27	1.65	.07	5.36	10.26	1.67	2.57	.02	.48	.03	.00	22.38IN
ET-NET	.00	.27	1.62	.08	4.62	6.45	3.91	3.04	.58	.79	.20	.09	21.66IN
POTENTIAL	10.79	11.16	11.28	10.64	6.85	9.96	8.78	9.68	8.34	8.82	10.37	10.57	117.24IN
STOR-U2S	.00	.00	.00	.00	.00	1.51	.00	.00	.00	.00	.00	.00	IN
LES	.00	.00	.03	.02	.75	2.53	1.74	1.25	.69	.38	.20	.11	IN
IPS	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	IN
GWS	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	IN
INEX-U2C	2.05	2.13	2.09	2.01	1.25	1.15	1.33	1.45	1.59	1.69	1.95	2.05	
BFWX	.39	.16	.06	.02	.01	.06	.03	.01	.01	.00	.00	.00	
SIAM	1.52	1.69	1.62	1.29	.38	.69	.73	.82	.64	.59	1.00	1.33	
BALANCE	.0000 INCHES												

HIGH HOURLY FLOWS

AFTER TRANSLATION			AFTER ROUTING		
90	15	75.44	90	16	76.68
90	16	82.62	90	17	81.24
90	17	74.64	90	18	72.33
90	20	74.11	90	21	75.45
90	21	81.87	90	22	83.06
90	22	88.78	90	23	89.85
90	23	94.97	90	24	95.94
90	24	100.55	91	1	93.98

ADJUSTED DAILY PRECIPITATION (mm)

DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT
1	.0	5.4	1.7	.0	13.5	.0	6.4	.0	.0	.0	.0	.0
2	.0	1.4	6.7	.0	2.4	17.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0
3	.0	.0	1.9	.0	19.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
4	.0	.0	5.2	.0	.0	31.1	7.9	.0	.0	.0	.0	.0
5	.0	.0	4.9	.0	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
6	.0	.0	4.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
7	.0	.0	.0	.0	.0	2.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0
8	.0	.0	.0	.0	.0	39.5	.0	.0	.4	1.3	.0	.0
9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
10	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.6	.0	.0	.0	.0	.0
11	.0	.0	.0	.0	15.4	.0	7.0	.7	.0	.0	.0	.0
12	.0	.0	.0	.0	43.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
13	.0	.0	.0	.0	27.0	5.0	.0	2.9	.0	.0	.0	.0
14	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.9	.0	.0	.0	.0	.0
15	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
16	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
17	.0	.0	.0	.0	9.8	.0	9.0	.0	.0	1.7	.0	.0
18	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.6	.0	.0	.0	.0
19	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.9	.0	.0	.0	.0	.0
20	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.1	.0	.0
21	.0	.0	17.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
22	.0	.0	.0	.0	4.7	9.9	.0	39.4	.0	.0	.0	.0
23	.0	.0	.0	.0	1.1	.0	3.7	.0	.0	.0	.8	.0
24	.0	.0	.0	.0	.0	66.6	.0	.9	.0	1.5	.0	.0
25	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
26	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
27	.0	.0	.0	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
28	.0	.0	.0	.0	.0	13.8	.0	18.7	.0	4.7	.0	.0
29	.0	.0	.0	.0	.0	16.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30	.0	.0	.0	.0	.0	1.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0
31	.0	.0	.0	.0	.0	56.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0
TOTAL:	.0	6.8	41.8	1.8	136.2	260.7	42.4	65.2	.4	12.3	.8	.0
TOTAL: 568.4mm												

RECORDED FLOWS (M3/S)

DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	
2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
4	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
8	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
17	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
24	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
29	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
30	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
31	.00		.00	.00		1.20		.00		.00	.00		
RECORDED	.00	.00	.00	.00	.00	1.20	.10	.00	.00	.00	.00	.00	1.2M3/S
	.0	.0	.0	.0	.0	9.7	.8	.0	.0	.0	.0	.0	10.5mm

SYNTHESIZED FLOWS

DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.21	.00	.00	.00	.00	.00	
2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	
3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	
4	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.17	.00	.00	.00	.00	.00	
5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	
6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
8	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
17	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	
23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
24	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
26	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
29	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
30	.00	.00	.00	.00		.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
31	.00		.00	.00		1.17		.00		.00	.00		
SYNTHET	.00	.00	.00	.00	.01	1.32	.52	.07	.00	.00	.00	.00	1.9M3/S
	.0	.0	.0	.0	.1	10.7	4.2	.6	.0	.0	.0	.0	15.5mm
SABS =	.00	.00	.00	.01	.12	.42	.07	.00	.00	.00	.00	.00	.6M3/S
CORRELATION COEFFICIENT (DAILY) R2 , NS:										.9799		.9621	

SUB-BACIA JATOBA, SUME
HYDROLOGIC SIMULATION FOR 1979-80

MONTHLY SUMMARY TABLES FOR FLOW SIMULATION IN ZONE 1

OVERLAND	.00	.00	.00	.00	.15	.11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.27IN
INTERFLW	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.04IN
BASEFLOW	.00	.00	.00	.00	.02	.18	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.21IN
STRMEVAP	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00IN
STRMFLOW	.00	.00	.00	.00	.17	.34	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.52IN
PRECIP	.00	.78	.00	.68	8.92	4.45	2.11	.09	2.44	.33	.00	.00	19.79IN
ET-NET	.00	.77	.00	.67	3.51	5.51	3.27	1.03	2.85	.79	.31	.19	18.90IN
POTENL	10.35	10.14	12.10	9.86	6.08	9.38	9.43	10.06	7.98	8.00	10.26	10.26	113.91IN
STOR-UZS	.00	.00	.00	.00	1.84	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	IN
LES	.00	.01	.01	.02	3.37	3.85	2.69	1.75	1.34	.87	.57	.37	IN
IPS	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	IN
GWS	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	IN
INDX-UZC	3.16	3.14	3.42	3.06	1.23	1.94	2.14	2.41	2.26	2.43	2.86	3.02	
BFNX	.39	.16	.06	.02	.07	.08	.04	.01	.01	.00	.00	.00	
SIAM	1.11	1.08	1.20	1.06	.75	.91	.97	1.01	.89	.85	1.00	1.07	
BALANCE	.0000 INCHES												

HIGH HOURLY FLOWS

AFTER TRANSLATION			AFTER ROUTING		
43	18	201.52	43	19	278.26
43	19	426.55	43	20	317.23
73	1	309.80	73	1	189.39
			73	2	247.31

ADJUSTED DAILY PRECIPITATION (mm)

DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT
1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2	.0	.0	.0	3.5	.0	50.7	.0	.0	.0	2.7	.0	.0
3	.0	.0	.0	.0	.0	1.3	.0	.0	.0	4.8	.0	.0
4	.0	.0	.0	.0	.0	3.0	7.3	.3	.0	.0	.0	.0
5	.0	.0	.0	.0	.0	8.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0
6	.0	.0	.0	13.2	.0	3.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0
7	.0	.0	.0	.0	18.9	.0	28.1	.0	.0	.0	.0	.0
8	.0	.0	.0	.0	2.4	.0	2.6	.0	.0	.0	.0	.0
9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
10	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.1	.0	.0	.0
11	.0	.0	.0	.0	1.7	.0	.0	.0	.9	.0	.0	.0
12	.0	.0	.0	.5	99.9	3.4	8.5	.0	12.8	.0	.0	.0
13	.0	.0	.0	.0	8.0	40.8	.0	.0	8.6	.0	.0	.0
14	.0	.0	.0	.0	12.2	.0	.0	.0	14.4	.0	.0	.0
15	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.8	.0	.0
16	.0	.0	.0	.0	.1	1.4	.0	1.8	.0	.0	.0	.0
17	.0	11.2	.0	.0	1.5	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0
18	.0	.0	.0	.0	5.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
19	.0	8.6	.0	.0	6.0	.0	6.7	.0	.0	.0	.0	.0
20	.0	.0	.0	.0	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
21	.0	.0	.0	.0	11.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
22	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.5	.0	.0	.0
23	.0	.0	.0	.0	4.2	.0	.2	.0	.0	.0	.0	.0
24	.0	.0	.0	.0	8.7	.0	.2	.0	.0	.0	.0	.0
25	.0	.0	.0	.0	14.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
26	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
27	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	10.7	.0	.0	.0
28	.0	.0	.0	.0	29.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
29	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0
31	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
TOTAL:	.0	19.8	.0	17.2	226.5	113.0	53.6	2.3	62.0	8.3	.0	.0

TOTAL: 502.7mm

RECORDED FLOWS (M3/S)													
DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
2	.00	.00	.00	.00	.00	.28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
3	.00	.00	.00	.00	.00	.40	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
4	.00	.00	.00	.00	.00	.14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
5	.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
6	.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
7	.00	.00	.00	.00	.00	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
8	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.04	.00	.00	.00	.00	.00	
9	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
10	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
11	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
12	.00	.00	.00	.00	.95	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
13	.00	.00	.00	.00	.09	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
14	.00	.00	.00	.00	.00	.72	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
15	.00	.00	.00	.00	.00	.14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
16	.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
17	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
18	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
19	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
20	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
21	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
22	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
23	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
24	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
29	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
30	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
31	.00		.00	.00		.00		.00		.00	.00		
RECORDED	.00	.00	.00	.00	1.09	2.47	.05	.00	.00	.00	.00	.00	3.6M3/S
	.0	.0	.0	.0	3.5	8.0	.2	.0	.0	.0	.0	.0	11.6mm
SYNTHESIZED FLOWS													
DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
2	.00	.00	.00	.00	.00	.31	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
3	.00	.00	.00	.00	.00	.23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
4	.00	.00	.00	.00	.00	.18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
5	.00	.00	.00	.00	.00	.16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
6	.00	.00	.00	.00	.00	.14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
7	.00	.00	.00	.00	.00	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
8	.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
9	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
10	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
11	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
12	.00	.00	.00	.00	.96	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
13	.00	.00	.00	.00	.08	.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
14	.00	.00	.00	.00	.02	.67	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
15	.00	.00	.00	.00	.01	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
16	.00	.00	.00	.00	.01	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
17	.00	.00	.00	.00	.01	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
18	.00	.00	.00	.00	.01	.03	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
19	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
20	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
21	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
22	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
23	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
24	.00	.00	.00	.00	.06	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25	.00	.00	.00	.00	.10	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
26	.00	.00	.00	.00	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
27	.00	.00	.00	.00	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
28	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
29	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
30	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
31	.00		.00	.00		.00		.00		.00	.00		
SYNTHET	.00	.00	.00	.00	1.43	2.59	.04	.00	.01	.00	.00	.00	4.1M3/S
	.0	.0	.0	.0	4.6	8.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	13.1mm
SABS =	.00	.00	.00	.00	.34	.12	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.5M3/S
CORRELATION COEFFICIENT (DAILY) R2 , NS:									.9646		.9500		

RECORDED FLOWS (M3/S)													
DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	
2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	
3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	
4	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	
5	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.01	.01	.00	.00	.00	
6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	
7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	
8	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
12	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
13	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
14	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
17	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	
19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.01	.00	.00	.00	.00	
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.11	.01	.00	.00	.00	.00	
21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	.00	
22	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
23	.00	.00	.00	.18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
24	.00	.00	.00	.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.17	.01	.00	.00	.00	.00	
26	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
27	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
28	.00	.00	.00	.00	.01	2.30	.19	.00	.00	.00	.00	.00	
29	.00	.00	.00	.00		.05	.17	.00	.00	.00	.00	.00	
30	.00	.00	.00	.00		.02	.02	.00	.00	.00	.00	.00	
31	.00		.00	.00		.01		.00		.00	.00		
RECORDED	.00	.00	.00	.38	.17	2.44	.80	.36	.08	.07	.01	.00	4.3M3/S
	.0	.0	.0	.2	.1	1.5	.5	.2	.0	.0	.0	.0	2.7mm
SYNTHESIZED FLOWS													
DAY	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.00	.00	.00	
2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00	
3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	
4	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.00	.00	
5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	
6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	
7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
8	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
9	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
14	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
17	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
18	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
24	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	
26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
27	.00	.00	.00	.00	.00	.24	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
28	.00	.00	.00	.00	.00	2.40	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
29	.00	.00	.00	.00		.12	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
30	.00	.00	.00	.00		.09	.00	.00	.00	.00	.00	.00	
31	.00		.00	.00		.07		.00		.00	.00		
SYNTHET	.00	.00	.00	.01	.01	2.93	.28	.02	.00	.00	.00	.00	3.3M3/S
	.0	.0	.0	.0	.0	1.8	.2	.0	.0	.0	.0	.0	2.0mm
SABS =	.00	.00	.00	.38	.16	.49	.52	.33	.07	.06	.01	.00	2.0M3/S
CORRELATION COEFFICIENT (DAILY) R2 , NS:									.9758		.9525		