

AValiação DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO AçUDE CUSTÓDIA – PE

Klebber T. M. Formiga¹, Raimundo S. S. Góis², Marcos T. Siqueira³, Lincoln M. Alves⁴

Resumo – A determinação da disponibilidade hídrica em um reservatório é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos do manancial. Este trabalho tem por objetivo a determinação das disponibilidades hídricas no açude de Custódia, utilizando o método do balanço hídrico. Para a determinação dos deflúvios na bacia, foram aplicados os modelos chuva-vazão Tank Model e MODHAC.

Abstract - The determination of water availability in a reservoir is very important for it water resource management. The main objective of this work is a determination of water availability for the Custódia dam, using the water balance method. In a perception of the watershed runoff had been used two methods: Tank Model and MODHAC.

Palavras-Chave - disponibilidade hídrica, modelos matemáticos

¹ Engenheiro Civil, Mestre em Recursos Hídricos, AERH/DEC/CCT/UFPB, Campus II, 58109-970, Campina Grande-PB. e-mail: klebber@zaz.com.br

² Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, CCT/UFPB, Campus II, 58109-970, Campina Grande-PB e-mail: sgois@rechid.ufpb.br

³ Engenheiro Civil, Mestre em Recursos Hídricos, AERH/DEC/CCT/UFPB, Campus II, 58109-970, Campina Grande-PB. e-mail: eunicecamara@yahoo.com

⁴ Aluno de Graduação de Meteorologia, AERH/DEC/CCT/UFPB, Campus II, 58109-970, Campina Grande-PB. e-mail: lincolnmuniz@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As disponibilidades hídricas superficiais de uma bacia hidrográfica compreendem as parcelas dos recursos de água que podem ser prontamente aproveitadas e portanto disponíveis para diversos fins. Neste trabalho, as disponibilidades hídricas superficiais são consideradas como as parcelas de água represadas nos açudes ou reservatórios, possíveis de serem aproveitadas através de regularização ou retiradas. Fica evidente que a disponibilidade hídrica de um açude não seria simplesmente a capacidade máxima de acumulação do mesmo, já que o volume que se pode dispor no reservatório varia ao longo do tempo, em função das entradas e saídas d'água do manancial.

O volume acumulado em um reservatório varia ao longo do ano, e de ano para ano, conforme variam as precipitações pluviais de sua bacia de drenagem. Considerando que a principal fonte de contribuição para a acumulação de água nos açudes depende diretamente da precipitação e também, que esta é uma variável aleatória, pode-se concluir que os resultados da avaliação das disponibilidades hídricas dos açudes não podem ser expressos em termos absolutos e portanto devem ser associados a uma determinada frequência de ocorrência ou nível de garantia.

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

A bacia hidrográfica do riacho Quitimbu está situada no Estado de Pernambuco e pertence a bacia do rio Moxotó que é um afluente do rio São Francisco. Localiza-se entre as latitudes 7°52' e 8°03' sul e longitudes de 37°05' e 37°23' oeste de Greenwich, estando inserida em sua totalidade na microrregião do Sertão do Moxotó.

Em sua totalidade a bacia hidrográfica do açude Custódia tem cerca de 202 km², que corresponde a 2,00% da área da bacia do Moxotó. O principal curso d'água desta bacia é o riacho Quitimbu, formado pela confluência dos riachos Lajedo e Saba, possuindo uma extensão total de 30,7 km.

A região onde se localiza o açude Custódia apresenta um clima bastante complexo, tendo em vista que atua nesta região diferentes correntes de circulação. Durante os meses de setembro a dezembro as altas pressões tropicais do Atlântico Sul (TA) proporcionam tempo seco, mas a medida que chega o verão, observa-se o deslocamento da massa de ar tropical atlântica na direção leste ocasionando a descida das massas equatoriais norte (EN), onde o zona de contato destas duas massas de ar, concretiza-se pela frente intertropical (FIT), com eixo nordeste-sudoeste ou leste oeste, determinando as chuvas de convecção.

A temperatura média mensal da região varia entre 22,0 e 27,4°C, mostrando uma amplitude de variação de cerca de 5,3°C, com as mais elevadas ocorrendo no mês de dezembro e as menores no mês de julho.

A insolação é bastante variável ao longo do ano, variando de mês para mês. Os meses de outubro e novembro têm em geral a maior duração de insolação com mais de 9 horas por dia em média, enquanto que se observam apenas 6 horas por dia nos meses de junho e julho. O total médio anual situa-se em torno de 7,8 horas por dia. Os ventos são

de maneira geral fracos a moderados em quase todo o açude. Sua média mensal é 1,3 m/s, com direção predominante sudeste. O mês de maior intensidade de ventos é setembro.

A evaporação na área em estudo tem seus valores mais elevados nos meses de outubro e novembro, quando atingem valores médios da ordem de 195,7 mm, diminuindo nos meses abril a junho quando atinge um mínimo de 146,1 mm no posto de Betânia.

Na bacia de drenagem do açude Custódia, observa-se um regime pluviométrico torrencial, com chuvas de grande intensidade concentradas em pequenos intervalos de tempo. Com base na precipitação média mensal na bacia de drenagem do açude Cachoeira II, no período de 53 anos (1939-1991), verifica-se que a maior parte das precipitações (66,5%) ocorrem entre os meses de fevereiro e maio, sendo que o pico (23,3%) acontece no mês de março. Para este período verificou-se que a precipitação média anual foi de 782,3 mm. A Figura 1 mostra a distribuição das precipitações ao longo do ano.

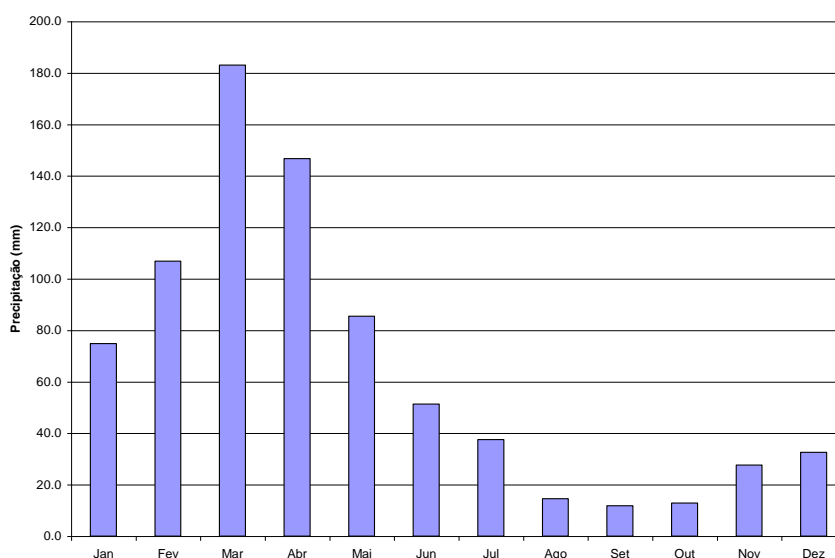


Figura 1 – Distribuição das precipitações na bacia de drenagem do açude Custódia

A bacia hidrográfica do açude Custódia caracteriza-se por uma forte ação antrópica que ocupa a maior parte da área. Verifica-se também a presença de pequenas áreas com vegetação do tipo caatinga, caracterizada como arbórea fechada, havendo ainda manchas de arbustiva arbórea aberta (PERH, 1997).

Na bacia do riacho da Várzea Grande na seção do açude Custódia, predominam, em maior escala, solos do tipo Regossol, havendo também a ocorrência de solos Bruno Não-Cálcicos e Litólicos e Afloramentos de Rocha e Solonetz Solodizado.

METODOLOGIA

A disponibilidade hídrica do açude pode ser avaliada através da metodologia clássica de simulação da operação mensal do reservatório, com base no balanço hídrico deste manancial no decorrer do tempo. A simulação mensal do balanço hídrico do reservatório possibilita definir a *Curva de Garantia Mensal* que permite estabelecer a vazão para o aproveitamento com uma dada garantia.

A dinâmica do processo do balanço hídrico mensal pode ser sintetizada através da seguinte equação:

$$V_i = V_{i-1} + VA_i + VP_i - VE_i - VQ_i$$

(1)

onde:

V_{i-1} = Volume de água armazenado no reservatório no final do mês i-em m^3 ;

V_i = Volume de água armazenado no reservatório no final do mês i em m^3 ;

VA_i = Volume de água afluente ao reservatório, decorrente do escoamento superficial da bacia de contribuição, durante o mês i em m^3 ;

VP_i = Volume de água precipitado diretamente sobre o espelho d'água do reservatório no mês i em m^3 ;

VE_i = Volume de água retirado do reservatório, decorrente das perdas por evaporação na bacia hidráulica em m^3 ;

VQ_i = Volume de água retirado do reservatório para suprir as possíveis demandas hídricas, durante o mês i em m^3 (volume regularizável).

Os volumes de água precipitados diretamente sobre o reservatório (VP_i) foram calculados através dos produtos entre as precipitações mensais e as áreas dos espelhos d'água do açude naqueles meses.

Neste estudo a lâmina evaporada foi obtida do posto de Betânia, e os volumes perdidos por evaporação (VE_i) foram determinados em função destas lâminas e da área do espelho d'água para as respectivas cotas.

A água afluente ao reservatório, decorrente do escoamento superficial da bacia de contribuição (VA_i) foi gerada a partir de modelos matemáticos em virtude da escassez de dados fluviométricos na região do açude. Neste processo foram utilizados os modelos Tank Model e MODHAC, utilizando-se para isso intervalos de computação a nível diário, e intervalos de simulação mensais. O período de simulação foi de 53 anos (1939 a 1991).

As curvas cota-área-volume do reservatório, cujos dados servem de base para o cálculo dos volumes: disponível; precipitado sobre o espelho d'água; e evaporado, em um dado mês, foram obtidas através do levantamento topográfico feito pelo DNOCS. A capacidade máxima de acumulação e o volume inativo ou "morto" (informações imprescindíveis para as simulações de operação do reservatório), foram obtidas a partir destas curvas. No caso do açude Custódia, o volume morto é igual a $867.900 m^3$.

Tabela 1 – Cota-Área-Volume do açude Público Custódia

COTAS	ÁREAS (m3)	VOLUMES (m3)
510	10	0
511	1 800	900
512	21 000	12 300
513	36 000	40 800
514	72 600	95 100
515	181 200	222 000
516	310 800	468 000
517	489 000	867 900
518	637 200	1 431 000
519	850 200	2 174 700
520	1 231 800	3 215 700
521	1 420 800	4 542 000
522	1 684 800	6 094 800
523	1 881 600	7 878 000
524	2 152 200	9 884 900
525	2 445 000	12 193 500
526	2 868 800	14 824 400
527	3 888 800	17 977 200
528	3 903 000	21 623 100
529	4 387 800	25 768 500
530	5 115 000	30 519 900
531	6 655 600	35 905 200

Para a simulação do balanço hídrico foram assumidas distintas vazões regularizáveis (VQ_i), as quais permaneceram constantes durante cada processamento ao longo dos 636 meses. Neste estudo determinou-se, durante o período simulado, o número de meses que o reservatório não foi capaz de atender à referida vazão Q , os quais foram considerados como falhas no atendimento. A frequência (F) de ocorrência destas falhas foi obtida através da relação $F = (n/t)100(\%)$, sendo "n" o número de meses em que o reservatório não atende a vazão retirada (falha) e "t" o número total de meses simulados (636). O fator $(1-F)$ indica, portanto, a frequência ou nível de garantia (G) de atendimento da vazão Q . A repetição deste procedimento, para diversas vazões, permite definir a curva 'vazão regularizável x nível de garantia', chamada então de *Curva de Garantia Mensal*.

RESULTADOS

Determinação da Vazão Afluente

A vazão afluente no açude Custódia foi determinada utilizando-se os modelos matemáticos Tank Model e MODHAC na simulação para extensão dos dados de vazão podendo-se projetar a série de deflúvios para um período de 53 anos, que consiste em um intervalo de tempo estatisticamente representativo em termos hidrológicos.

Dados Hidrológicos

Para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos necessários a este trabalho, dispõe-se de dados pluviométricos, fluviométricos e climáticos. Os dados pluviométricos, que consiste na pluviometria diária, e de evaporação foram obtidos do banco de dados da SUDENE, e os dados fluviométricos do posto Salobro, que tem uma área de drenagem de 15,2 km², foram obtidos no “Relatório Final da Bacia Representativa do Riacho do Navio” da SUDENE (1979).

Os dados pluviométricos utilizados na análise inicial, referem-se a pluviometria diária dos postos relacionados na Tabela 2. A Figura 2 mostra as áreas de influências, obtidas através do método de Thiessen dos postos pluviométricos utilizados no cálculo das precipitações médias mensais, bem como a bacia de drenagem do reservatório. A seleção dos postos localizados na vizinhança da área de estudo limitou-se àqueles com distância em torno de 30 km, devido a grande variação espacial da precipitação na região. O preenchimento das falhas dos dados pluviométricos a nível mensal, foi feito pelo método da regressão linear com base na ponderação regional utilizando os dados dos postos apresentados na tabela supracitada. A seleção e o preenchimento de falhas dos dados foi feita com base no programa desenvolvido em linguagem FORTRAN com esta finalidade, pela Área de Recursos Hídricos/DEC/CCT/UFPB/CAMPUS II.

Tabela 2 – Localização e área de influência dos postos pluviométricos na bacia do açude Custódia

Posto	Latitude	Longitude	Área de Influência (km ²)
Custódia	8°06'	37°39'	50,25
Fátima	7°57'	37°43'	29,07
Irajaí	7°55'	37°31'	4,01
Quitimbú	7°56'	37°37'	119,76



Figura 2 – Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos utilizados

Calibração e Validação dos Modelos

Considerando que o processamento dos dados feito pela versão do modelo Tank Model utilizado é diário, torna-se necessário que haja uma longa série de dados pluviométricos e fluviométricos, também diários. Os anos com dados fluviométricos do posto Salobro, na bacia do riacho do Navio observados foram os de (1971 a 1977), as lâminas mensais para este período são apresentadas na Tabela 3.

De modo a garantir maior confiabilidade na extrapolação dos parâmetros para o período de 53 anos de dados observados de precipitação, optou-se por utilizar dois modelos matemáticos de simulação com o objetivo de comparar as suas vazões. Como citado anteriormente os modelos escolhidos foram o Tank Model (Sugawara 1979, Góis e Suzuki 1987, Diniz e Góis 1993) e o MODHAC (Lanna e Schwarzbach 1989) esses modelos tem sido utilizados em estudos hidrológicos do semi-árido nordestino, apresentando resultados satisfatórios.

Tabela 3 – Lâminas mensais (mm) observadas no posto de Salobro no período de 1971 a 1977

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1971	0.00	0.00	0.00	2.40	0.70	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1972	0.02	0.34	4.21	6.34	0.48	0.14	0.07	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
1973	0.00	0.00	0.00	1.30	2.18	1.01	0.65	0.15	0.07	0.03	0.02	0.00
1974	2.05	11.22	44.30	56.84	39.69	1.50	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1975	0.00	0.00	1.80	14.95	3.31	4.19	44.54	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00
1976	0.00	0.91	8.80	6.70	0.17	0.53	0.04	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
1977	0.00	0.38	0.05	6.05	2.27	15.89	0.35	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00

Resultados da calibração

As Tabelas 4 a 9 apresentam os resultados da calibração e validação dos modelos Tank Model e MODHAC para o período de observação de 1971 a 1977 do posto fluviométrico Salobro. Nas Figuras 2 e 3 são mostrados os gráficos obtidos para a calibração e a validação desses modelos.

Tabela 4 – Parâmetros da calibração do modelo Tank Model (1971-1974)

H1	H2	H3	A1	A2	A3	B1	B2	KE
82.8094	44.3888	63,0000	0.1513	0.0262	0.584	0.0004	0.3369	0.8028

Tabela 5 – Resultados da calibração do modelo Tank Model (1971-1974)

Ano	Lâmina Calculada (mm)	Lâmina Observada (mm)	Precipitação (mm)	Rendimento Calculado (%)	Rendimento Observado (%)
1971	2.75	3.46	499.7	0.6%	0.7%
1972	9.82	11.64	659.6	1.5%	1.8%
1973	2.58	5.40	574.8	0.4%	0.9%
1974	151.21	155.84	1162.3	13.0%	13.4%

Tabela 6 – Resultados da validação do modelo Tank Model (1975-1977)

Ano	Lâmina Calculada (mm)	Lâmina Observada (mm)	Precipitação (mm)	Rendimento Calculado (%)	Rendimento Observado (%)
1975	71.14	69.74	862.70	8.2%	8.1%
1976	13.28	17.21	666.30	2.0%	2.6%
1977	35.20	25.05	637.00	5.5%	3.9%

Tabela 7 – Parâmetros da calibração do modelo MODHAC (1971-1974)

RSPX	RSSX	RSBX	RSBY	IMAX	IMIN	IDEC
34.25	196.4	0	0	43.27	8.077	0.2
ASP	ASS	ASBX	ASBY	PRED	CEVA	-
0.906	8.97E-04	0	999	0	0	-

Tabela 8 – Resultados da validação do modelo MODHAC (1975-1977)

Ano	Lâmina Calculada (mm)	Lâmina Observada (mm)	Precipitação (mm)	Rendimento Calculado (%)	Rendimento Observado (%)
1971	9.464	3.46	499.7	1.9%	0.7%
1972	21.264	11.64	659.6	3.2%	1.8%
1973	11.902	5.40	574.8	2.1%	0.9%
1974	147.164	155.84	1162.3	12.7%	13.4%

Tabela 9 – Resultados da validação do modelo MODHAC (1975-1977)

Ano	Lâmina Calculada (mm)	Lâmina Observada (mm)	Precipitação (mm)	Rendimento Calculado (%)	Rendimento Observado (%)
1975	75.568	69.74	862.70	8.8%	8.1%
1976	23.063	17.21	666.30	3.5%	2.6%
1977	22.201	25.05	637.00	3.5%	3.9%

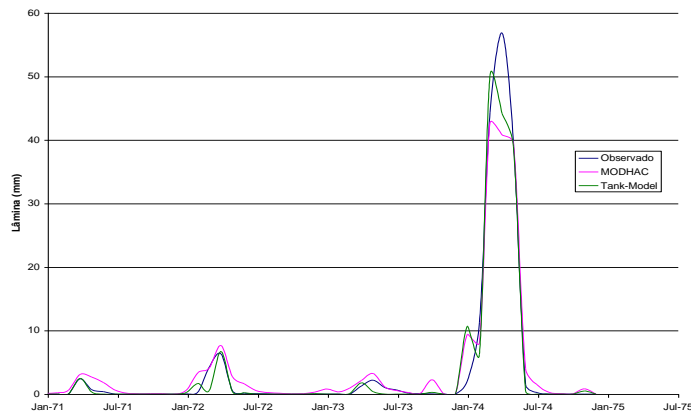


Figura 3 - Hidrograma das lâminas médias mensais utilizadas para a calibração dos modelos

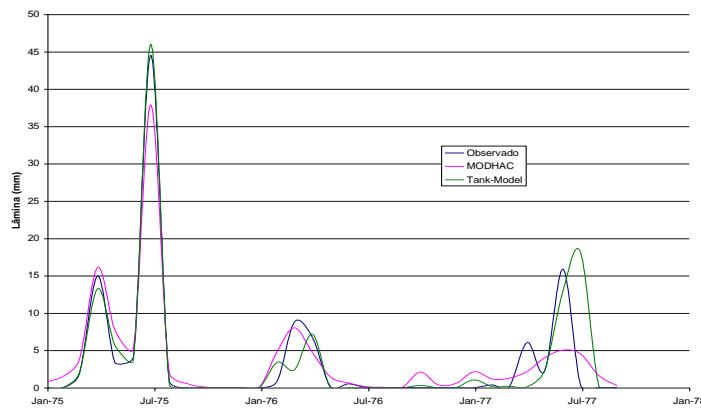


Figura 4 - Hidrograma das lâminas médias mensais utilizadas para a validação do modelo

No cálculo das vazões afluentes ao reservatório (VA_i), determinou-se as lâminas escoadas mensais pelo modelos chuva-vazão Tank-Model e MODHAC .

Para determinação das lâminas através do modelo Tank Model utilizou-se o conjunto de parâmetros apresentados nas Tabela 3 e 6. Os hidrogramas obtidos através dos modelos utilizados são apresentados nas Figuras 4 a 8.

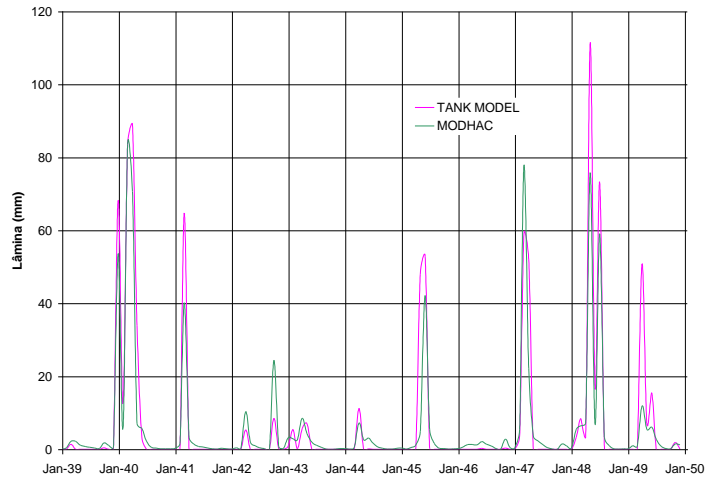


Figura 5 – Hidrograma comparativo das lâminas geradas para o período 1939 a 1950 pelos modelos Tank Model e MODHAC

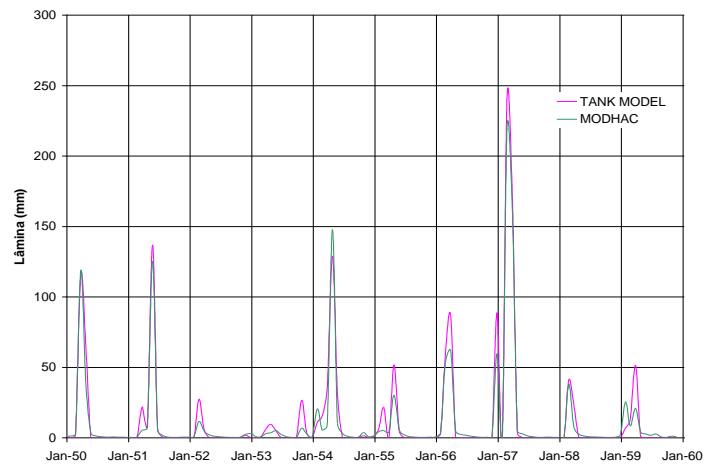


Figura 6 – Hidrograma comparativo das lâminas geradas para o período 1950 a 1960 pelos modelos Tank Model e MODHAC

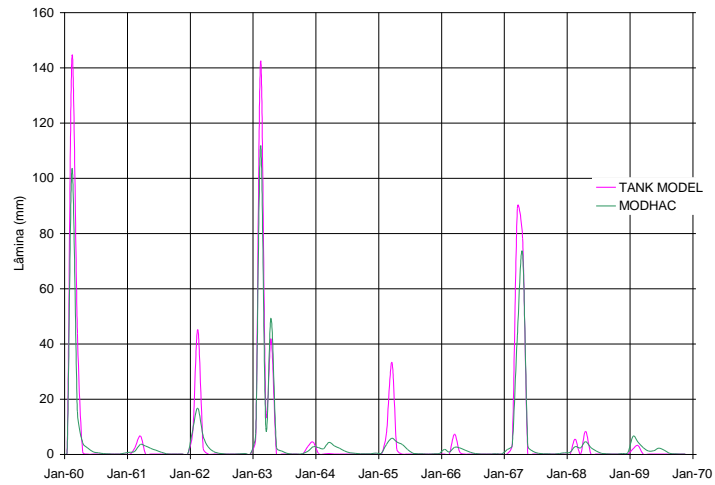


Figura 7 – Hidrograma comparativo das lâminas geradas para o período 1960 a 1970 pelos modelos Tank Model e MODHAC

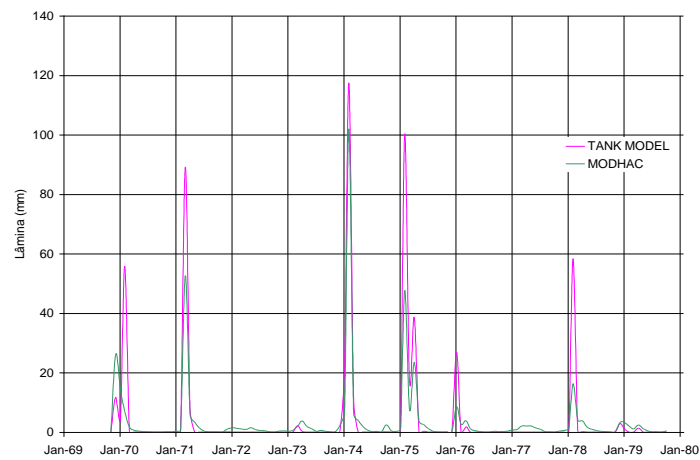


Figura 8 – Hidrograma comparativo das lâminas geradas para o período 1970 a 1980 pelos modelos Tank Model e MODHAC

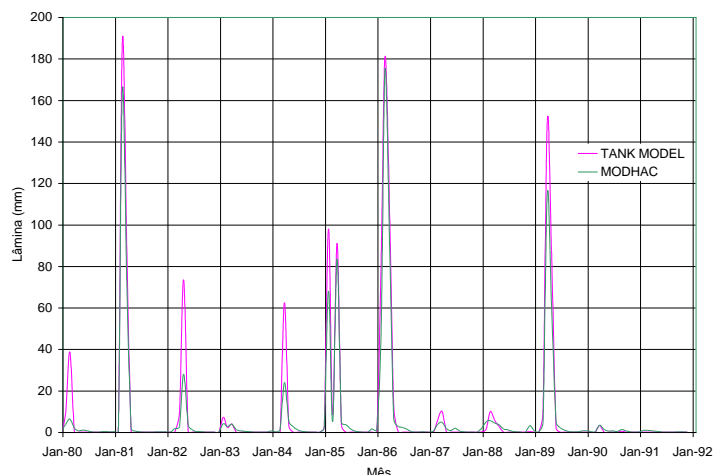


Figura 9 – Hidrograma comparativo das lâminas geradas para o período 1980 a 1991 pelos modelos Tank Model e MODHAC

Efeito da Pequena Açudagem

Os dados de açudagem existente na bacia de drenagem do açude Custódia foram obtidos no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Neste plano, a determinação da pequena açudagem foi efetuada através de imagens do satélite, LANDSAT TM-5, onde os volumes dos açudes foram estimados a partir de áreas dos espelhos de água, fornecidos pelas imagens. O volume da pequena açudagem calculado na bacia foi de 830.000 m³ o que equivale a 3,8 %, do volume armazenado por Custódia. Além desses açudes, existem outros de menor que supostamente não foram detectados. Com o objetivo de se levar em conta o efeito total da pequena açudagem na simulação do reservatório, considerou-se que a área de drenagem da bacia do açude Custódia sofresse uma redução 10%.

Determinação da Curva de Garantia

Com base na metodologia estabelecida e nos dados: lâmina escoada, tabela cota-área-volume, precipitação média mensal da bacia e evaporação mensal, foi simulada a operação do reservatório para diferentes demandas, obtendo-se dessa forma a curva de garantia para o açude Custódia, para as lâminas geradas pelos modelos Tank Model e MODHAC. Essas curvas são apresentadas nas Figuras 10 e 11.

Para o volume do reservatório de 21.623.100 m³, as vazões regularizáveis, para os níveis de garantia de 80, 90 e 100 % são, respectivamente, 284, 213 e 114 l/s para as vazões simuladas pelo Tank Model e 94, 180 e 231 pelo MODHAC.

Tabela 10 – Volumes médios precipitado, afluente, evaporado e extravasado no balanço hídrico do açude Custódia para a vazão de garantia de 100%

	Volume Precipitado (m ³)	Volume Afluente (m ³)	Volume Evaporado (m ³)	Volume Extravasado (m ³)
MODHAC	2 357 795	15 898 809	6 345 606	8 788 931
Tank Model	2 338 555	19 485 679	6 260 878	10 102 734

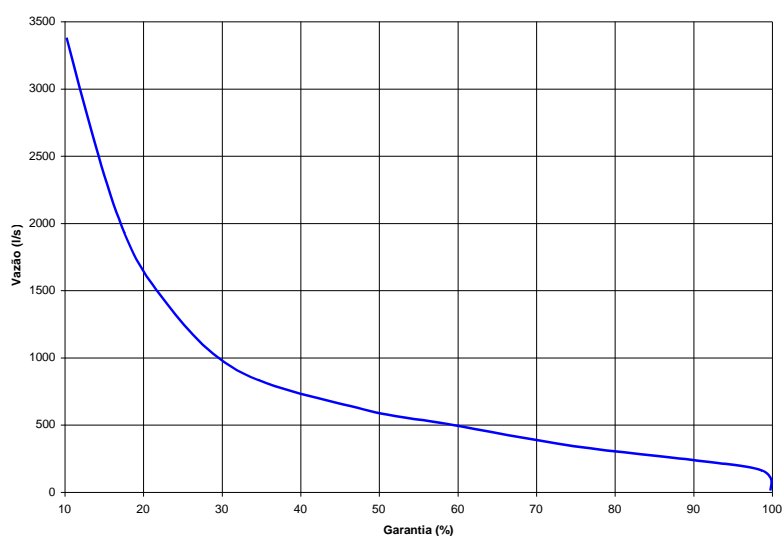


Figura 9 – Curva de garantia do açude Custódia para as lâminas geradas pelo Tank Model

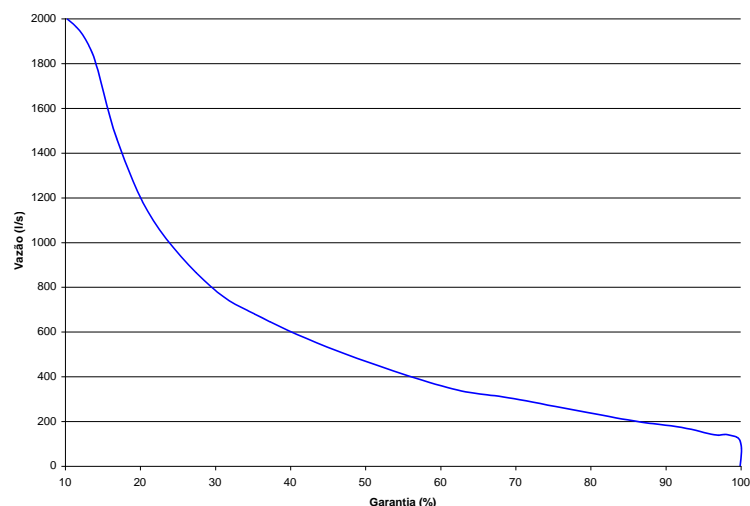


Figura 10 – Curva de garantia do açude Custódia para as lâminas geradas pelo MODHAC

CONCLUSÃO

A determinação da disponibilidade hídrica em um reservatório é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos do manancial. As dificuldades encontradas na determinação dessas curvas reside na escassez de dados, principalmente de deflúvio, necessários para se fazer o balanço hídrico no reservatório. Dessa forma tem-se recorrido cada vez mais a modelos chuva vazão na determinação dos deflúvios para períodos em que se tem dados de precipitação.

Os resultados obtidos mostram que apenas cerca de 20%, podem ser aproveitados com a garantia máxima de 100%, isso deve-se basicamente a dois fatores: o regime hídrico da bacia que concentra as precipitações em cerca de 4 meses do ano havendo ainda uma grande variação anual das descargas, o que pode ser verificado pelo vazão média extravasada que é de cerca de 50% do volume médio escoado. E é a alta taxa de evaporação na região, cerca de 2.700 mm anuais, que é responsável por uma perda média de 35% do volume afluente.

É importante ressaltar que os valores a serem extraídos das curvas de garantia indicam as vazões médias uniformes, regularizáveis, com certo nível de garantia, que podem ser retiradas do reservatório para determinados fins. A utilização destes dados, com vistas ao planejamento do uso da água, dependerá do emprego que se pretenda dar a este recurso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NOUVELOT, J. F; FERREIRA, P. A. S.; CADIER, E.; Bacia Representativa do Riacho do Navio – Relatório final. SUDENE, Recife, 1979.
- SECTMA, Plano estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, Recife, 1997.
- DINIZ, L. S.; GÓIS, R.S.S.--Aplicação de um algoritmo para calibração automática de modelos chuva vazão.--In: 10º SIMP. BRASILEIRO de REC. HÍDRICOS, ABRH, Gramado, RS, Nov., 1993.--Anais.--Porto Alegre, v.3, p.116-125.
- GÓIS, R. S. S.; SUZUKI, K.--Runoff characteristics of small rives in northeast Brasil.--In: proc. 29th Japanese conference on hydraulics, Tóquio, Japão, 1987.
- LANNA, A.E E SCHWARZBACH, M.. MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável. Recursos Hídricos, Publicação 21. Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- SUGAWARA, M. Automatic Calibration of the Tank Model. Hydrological Science Bulletin. Vol 24. N.3. 1979.