

Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Poti e Longá



GTO – GRUPO TÉCNICO OPERACIONAL
SUBGRUPO 1
HIDROLOGIA – RELATÓRIO FINAL

Equipe Técnica:

Agência Nacional de Águas (ANA):

André Raymundo Pante

Claudio Ritti Itaborahy

Márcio Tavares Nóbrega

Marcos Airtton de Sousa Freitas

Maurício Pontes Monteiro

Governo do Estado do Piauí (SEMAR):

Marcos José Craveiro Moreira

Roberto José Amorim R. Fernandes

Governo do Estado do Ceará (SRH / COGERH):

Francisco Osny Enéas da Silva

Rômulo Sabóya Ribeiro

Departamento Nacional de Obras contra a Seca (DNOCS):

Ana Teresa Marques M.de S. Ponte

André Leitão Mavignier

Antherson Pires Barbosa

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF)

Raphael Romero Barbosa

Índice Analítico

1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NAS BACIAS DOS RIOS POTI E LONGÁ.....	4
1.1. INTRODUÇÃO	4
1.2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	7
1.2.1 Levantamento de dados hidrológicos disponíveis para as duas bacias.....	7
1.2.2 Análise de consistência das séries de precipitação disponíveis e preenchimento de falhas.....	8
1.2.3 Espacialização das chuvas para as sub-bacias.....	14
1.2.4 Dados de Evaporação e Evapotranspiração.....	15
1.2.5 Geração das séries pseudo-históricas de vazão a partir de Modelo Chuva-Deflúvio.....	15
1.2.6 Simulação da disponibilidade nas bacias.....	25
1.2.7. Aplicação do Modelo.....	25
1.3. RESULTADOS	26
1.4. PROPOSTAS DE DEFINIÇÃO DE VOLUMES DOS NOVOS AÇUDES DA BACIA DO RIO POTI	29
1.4.1. Consolidação dos dados.....	35
2. DEMANDAS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NAS BACIAS DOS RIOS POTI E LONGÁ	39
2.1. INTRODUÇÃO	39
2.2. METODOLOGIA.....	39
2.2.1 ABASTECIMENTO HUMANO (URBANO).....	39
2.2.2. ABASTECIMENTO HUMANO (RURAL)	42
2.2.3. DESSEDENTAÇÃO ANIMAL	43
2.2.4. IRRIGAÇÃO	45
2.2.5. INDÚSTRIA.....	49
2.3. RESULTADOS	51
2.4. OUTROS USOS	53
2.4.1. CONTROLE DE CHEIAS	53
2.4.2. GERAÇÃO DE ENERGIA	53
2.4.3. DILUIÇÃO DE ESGOTOS.....	54
2.5. AGREGAÇÃO DE DEMANDAS POR MUNICÍPIOS DAS BACIAS DOS RIOS POTI E LONGÁ PARA OS TRECHOS PROPOSTOS.....	54
2.5.1. ABASTECIMENTO HUMANO URBANO E INDÚSTRIAS	54
2.5.2. ABASTECIMENTO HUMANO RURAL	56
2.5.3. IRRIGAÇÃO DIFUSA E DESSEDENTAÇÃO ANIMAL	57
Estado do Piauí:	57
Estado do Ceará:	58
2.5.4. IRRIGAÇÃO EM PERÍMETROS	59
2.5.5. BALANÇO HÍDRICO E PROPOSTA DE VAZÕES DE ENTREGA	62
3. RESUMO DAS PROPOSTAS DO SUBGRUPO 1 - HIDROLOGIA	67
4. BIBLIOGRAFIA	69
ANEXO A – Ponderações obtidas por Thiessen.....	71
ANEXO B –Demandas dos setores usuários por município (m³/s).....	75

1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NAS BACIAS DOS RIOS POTI E LONGÁ

1.1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas dos rios Poti e Longá, importantes sub-bacias do rio Parnaíba, têm, respectivamente, áreas de 52.270 km² e 24.267 km², abrangendo parte dos estados do Piauí e do Ceará, onde se localizam 101 municípios (82 no Estado do Piauí e 19 no Estado do Ceará), conforme apresentado nas Figuras 1 e 2.

As nascentes das duas bacias localizam-se no Estado do Ceará, desenvolvendo-se os cursos d'água na direção oeste, cruzando a fronteira entre os dois Estados, configurando uma rede hidrográfica formada tanto por rios de domínio da União, como de domínio estadual, segundo definição da Constituição Federal de 1988.

O rio Poti, em condições naturais, apresenta intermitência desde suas nascentes até a cidade de Prata do Piauí. A rede de açudagem instalada na bacia, porém, garante disponibilidade hídrica em trechos da região para diversos usos, sobretudo abastecimento público e irrigação, apresentada no subitem 1.2.1.

A bacia do rio Longá, por sua vez, por apresentar maior pluviometria média que a bacia do rio Poti e possuir as nascentes de alguns de seus afluentes na região da Cuesta da Ibiapaba, apresenta maior potencial hídrico que a última, verificando-se perenidade mesmo em sua porção superior. Como exemplo desse potencial, cabe citar a transposição que foi feita desde o Açude Jaburu para abastecimento de cidades na vizinha bacia do Rio Acaraú, vertente oriental da Ibiapaba.

Além dos açudes já construídos, as duas bacias possuem estudos e projetos de novos barramentos, conforme Tabela 1 do subitem 1.2.1.

Este trabalho, parte integrante das ações da Agência Nacional de Águas - ANA nas duas bacias, apresenta a disponibilidade hídrica nas duas bacias com a infra-estrutura atual, e faz projeções do incremento dessa disponibilidade hídrica com as novas intervenções previstas.

No Nordeste Semi-Árido a disponibilidade hídrica é praticamente restrita às reservas acumuladas nos reservatórios, por isso os mesmos assumem papel absolutamente estratégico no desenvolvimento da região. Os açudes existentes e previstos nas bacias estão na Tabela 1.

Figura 1 – arquivo anexo

1.2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia de avaliação da disponibilidade hídrica, normalmente baseada na série de registros fluviométricos, tem sua aplicação prejudicada pela deficiência de disponibilidade de dados fluviométricos no Nordeste.

Essa condição levou à opção por uma metodologia já consolidada em diversos estudos que enfocam a avaliação de disponibilidade hídrica no Nordeste, que segue as seguintes etapas:

- Revisão e análise detalhada de dados hidrológicos disponíveis – pluviometria, fluviometria e evaporação;
- Consistência e preenchimento de falhas nos registros pluviométricos, adotando-se unidade mensal que foi feito através do Método do Vetor Regional, Hiez e Rancan, 1983;
- Espacialização da chuva média nas sub-bacias por meio do clássico Método de Thiessen;
- Ajuste dos parâmetros de modelo chuva-vazão para os dados fluviométricos disponíveis, sendo utilizado no presente estudo o modelo CN-3S (Freitas e Taborga, 1987);
- Cálculo das vazões com o modelo chuva-vazão CN-3S, utilizando os parâmetros calibrados, verificando a adequação dos mesmos em cada caso, séries pseudo-históricas de deflúvio com extensão igual às séries de chuva preenchidas;
- Simulação matemática da operação dos reservatórios para obtenção das garantias no atendimento às demandas, baseando-se no método de conservação de massa e através da utilização de um algoritmo de rede de fluxo, implementado nesse trabalho pelo programa AcquaNet (USP, 2002).

Essas etapas metodológicas são bastante conhecidas dos profissionais que trabalham na área de recursos hídricos, no Nordeste Semi-Árido. Nos itens seguintes são apresentados os resultados da aplicação da metodologia delineada.

1.2.1 Levantamento de dados hidrológicos disponíveis para as duas bacias

Foi realizado levantamento dos dados hidrológicos existentes em diversas fontes, quais sejam: ANA (Hidro); Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (PERH-1992); consulta à COGERH-CE;

estudos referentes à porção piauiense da bacia (DNOCS / Sirac, 1986; SEINFRA-PI, 2003, COMDEPI-PI, 1977 e 1990).

A já citada deficiência na disponibilidade de dados hidrológicos na região do estudo ensejou a análise de consistência e o preenchimento das séries pluviométricas, que apresentam, em geral, maior extensão e cobertura que as séries fluviométricas, objetivando posterior utilização de modelo chuva-deflúvio.

Tabela 1 – Características dos principais açudes existentes e concebidos nas bacias dos rios Poti e Longá, em seus volumes de projeto.

Bacia do rio Longá									
açude	Vol máx (hm³)	Rio barrado	Área de drenagem (km²)*	UF	açude	Vol máx (hm³)	Rio barrado	Área de drenagem (km²)*	UF
Jaburu I	210,00	Catarina	313	CE	<i>Tinguis**</i>	<i>295,00</i>	<i>Matos</i>	<i>1.966</i>	<i>PI</i>
Piracuruca	250,00	Piracuruca	3.861	PI	Corredores	63,30	Jenipapo	571	PI
Caldeirão	54,60	Matos	439	PI	Joana	10,67	Corrente	292	PI
Bacia do rio Poti									
açude	Vol máx (hm³)	Rio barrado	Área de drenagem (km²)*	UF	açude	Vol máx (hm³)	Rio barrado	Área de drenagem (km²)*	UF
Colina	3,25	Poti	370	CE	Realejo	31,55	Cavalos	210	CE
Flor do Campo	111,30	Poti	299	CE	<i>Fronteiras</i>	<i>743,96</i>	<i>Poti</i>	<i>5.023</i>	<i>CE</i>
Carnaubal	87,69	Poti	1.427	CE	<i>Inhuçu</i>	<i>320,86</i>	<i>Inhuçu</i>	<i>908</i>	<i>CE</i>
Jaburu II	116,00	Soares	908	CE	<i>Lontras</i>	<i>134,70</i>	<i>Inhuçu</i>	<i>518</i>	<i>CE</i>
Cupim	4,55	Flores Bela	231	CE	<i>Castelo</i>	<i>2.640,00</i>	<i>Poti</i>	<i>6.792</i>	<i>PI</i>
Barra Velha	99,50	Bom Princípio	852	CE	Mesa de Pedra	55,65	Sambito	6.410	PI
Sucesso	10,00	Pajeú	285	CE	<i>Milagres</i>	<i>420,00</i>	<i>São Nicolau</i>	<i>4.248</i>	<i>PI</i>

* área de drenagem incremental – considera a área de drenagem entre o açude em questão e os açudes de montante

** Tinguis – em construção – obra paralisada.

Em *itálico*, os açudes previstos.

1.2.2 Análise de consistência das séries de precipitação disponíveis e preenchimento de falhas

O primeiro passo na análise da pluviometria foi a elaboração das isoietas médias anuais dos dados brutos de pluviometria, a partir do qual foi possível identificar três regiões pluviométricas homogêneas para tratamento de consistência dos dados. Isso possibilitou o descarte prévio de alguns postos, por incompatibilidade das lâminas precipitadas, em relação aos postos vizinhos; ocasionada por fatores como a pequena extensão da série ou erro sistemático de medição.

A análise de consistência para as três regiões homogêneas, a nível mensal, foi realizada por meio do Método do Vetor Regional (Hiez e Rancan, 1983), sendo consistidas as séries pluviométricas de 54 postos na bacia do rio Poti e de 37 postos na bacia do rio Longá, num total de 91 postos. Dentre estes postos, 4 foram descartados nessa análise por apresentarem inconsistências, provavelmente devido a erros sistemáticos de leitura, identificadas através do gráfico duplo-acumulativo dos erros (Tucci, 1993).

Após a análise de consistência, considerando somente os postos válidos, procedeu-se o preenchimento das falhas pelos valores obtidos com o vetor regional.

A geração das isoietas para as duas bacias resultou em três regiões de homogeneidade pluviométrica. As Tabelas 2 a 4 apresentam um resumo dos postos pluviométricos de cada região homogênea.

A Figura 3 apresenta um mapa com a localização dos postos pluviométricos divididos por região de homogeneidade pluviométrica.

Figura 3 – arquivo anexo

Tabela 2 – Resumo dos postos pluviométricos da região A (bacia do rio Poti) – médias anuais em mm

código	Dados	Média anual (mm)	código	Dados	Média anual (mm)
440005	1962 a 2004	575	541005	1962 a 1991*	823
441003	1962 a 1985	778	541011	1962 a 1991	819
440001	1948 a 1961	725	541009	1962 a 2001	938
441012	1992 a 2002	769	542003	1962 a 2001	1386
441008	1962 a 1991	1008	542005	1962 a 2001	1174
541002	1967 a 2004	1146	542007	1963 a 2001	1439
441009	1953 a 1973	660	542020	1985 a 2001	1294
440018	1912 a 2000	998	542008	1962 a 2004	1211
440019	1962 a 1999	809	542017	1976 a 1978	1022
540011	1919 a 1976	692	541008	1963 a 2001	1169
541012	1962 a 1988	683	542009	1963 a 2001	1224
541003	1913 a 2001	1017	642013	1992 a 2001	1000
541007	1962 a 1980	905	542021	1992 a 2000	921
541000	1962 a 1990*	812	542010	1963 a 2001	1229
540008	1962 a 1990*	948	642006	1963 a 2001	1089
540014	1962 a 1976	991	642010	1963 a 2001	1127
540020	1912 a 1985	720	642005	1963 a 2001	1037
540004	1962 a 1990*	857	641000	1963 a 2001	1017
540003	1934 a 1990*	607	641008	1963 a 2001	733
540005	1962 a 1990*	648	641010	1962 a 2001**	894
540016	1912 a 1985	593	641007	1963 a 1998	873
540010	1962 a 1976	692	641005	1963 a 1989*	854
540013	1962 a 1990*	762	641003	1963 a 2001	815
540009	1962 a 1990	791	641009	1963 a 1989	751
540002	1934 a 1989*	575	641002	1963 a 1999	868
541001	1962 a 2000	643	542012	1913 a 2004	1304

* postos que voltaram a operar entre o início da década de 90 e 2000, mas com muitas falhas na leitura.

** posto que iniciou a operação em 1938, mas com muitas falhas até 1962.

Tabela 3 – Resumo dos postos pluviométricos da região B (bacia do rio Piracuruca):

código	dados	Média anual (mm)	código	dados	Média anual (mm)
340018	1912 a 1986	1674	542000	1963 a 2001	1523
340031	1912 a 1989*	1471	542006	1963 a 1988*	1316
340030	1912 a 1991*	1212	541006	1963 a 1990*	1332
341014	1962 a 1990	754	542002	1963 a 1988*****	1382
440004	1962 a 1994*	551	341005	1962 a 1972	997
441013 ¹	1993 a 2002	1563	341004	1962 a 1990	1111
441001	1962 a 1991*	1181	341006	1963 a 1990*	1323
341009	1912 a 2001**	1274	341002	1962 a 1978	1581
441011	1983 a 1985	1164	341007	1963 a 1991	1256
441010	1983 a 1984	1116	341008	1964 a 1990*	1866
441006	1913 a 2001***	1653	341027 ¹	1984 a 2003	1435
441000	1963 a 1987	1405	341028	1993 a 2002	1152
441005	1913 a 2001***	1133	342003	1963 a 1991*	1436
441004	1963 a 1990*	913	342010	1983 a 1985	1725
441002	1963 a 2001*	1388	342002	1963 a 2003	1540
442005	1968 a 2003****	1467	442001	1912 a 2002****	1559
442018	1968 a 1988	1345	341021	1979 a 1985	1540
442007	1963 a 1990*	1507	442000	1912 a 2002	1536
442004	1912 a 2001	1279			

* postos que voltaram a operar entre o início da década de 90 e 2000, mas com muitas falhas na leitura.

** Não tem leitura de 1931 a 1937 e de 1960 a 1962

*** Não tem leitura de 1989 a 1991

**** Posto com falhas de falhas de vários meses consecutivos ao longo da série

***** Leituras de 1912 a 1923, com muitas falhas.

Tabela 4 – Resumo dos postos pluviométricos da região C (açudes Jaburu I, Inhuçu e Lontras)¹:

código	dados	Média anual (mm)	código	dados	Média anual (mm)
340018	1912 a 1986	1674	440023	1912 a 1989	1254
340031	1912 a 1989*	1471	440032	1912 a 1986**	884
340030	1912 a 1991*	1212	440014	1912 a 1989***	978
341014	1962 a 1990	754	440022	1933 a 1991*	1341
440004	1962 a 1994*	551			

* postos que voltaram a operar entre o início da década de 90 e 2000, mas com muitas falhas na leitura.

** Não há leituras de 1943 a 1947.

*** Não há leituras de 1956 a 1961.

¹Pela pouca quantidade de postos pluviométricos para esta região, sua consistência foi realizada considerando alguns postos da Região B.

Os gráficos duplo-acumulativos dos postos pluviométricos descartados estão nas Figuras 4 a 7.

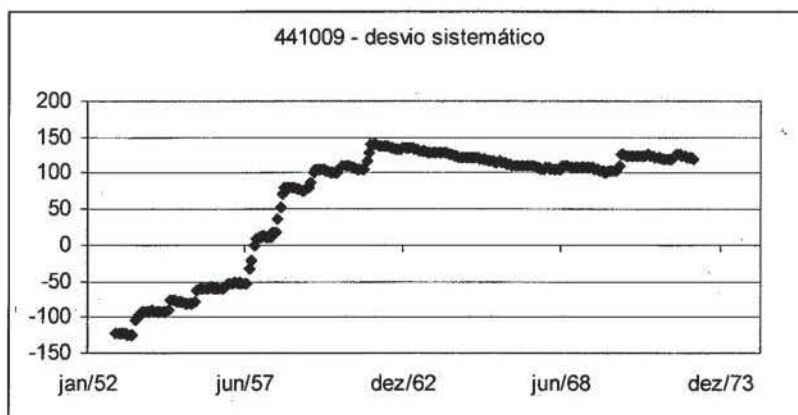


Figura 4 – Gráfico duplo-acumulativo dos erros do posto 441009

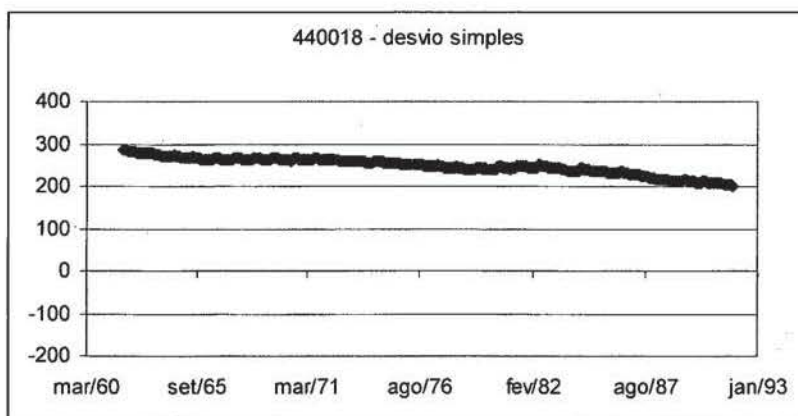


Figura 5 – Gráfico duplo-acumulativo dos erros do posto 440018

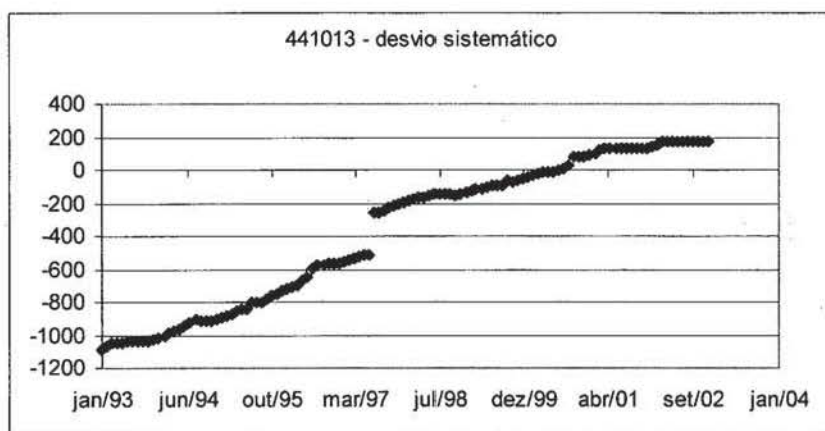


Figura 6 – Gráfico duplo-acumulativo dos erros do posto 441013

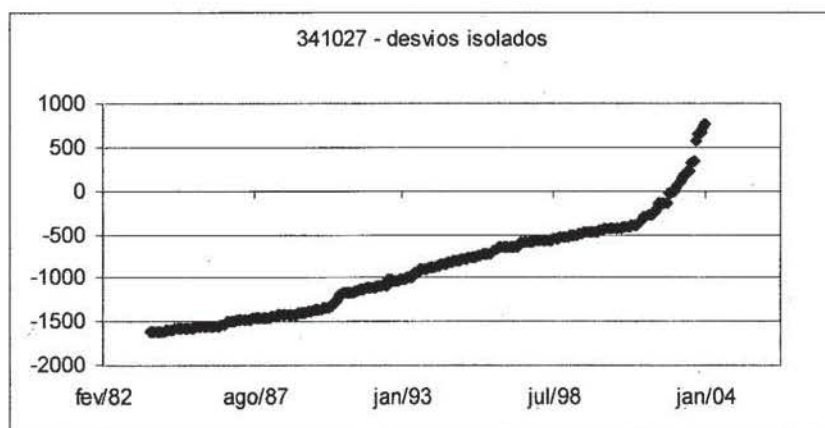


Figura 7 – Gráfico duplo-acumulativo dos erros do posto 341027

1.2.3 Espacialização das chuvas para as sub-bacias

Foi utilizado o Método de Thiessen para a espacialização das séries de precipitações mensais considerando cada uma das bacias incrementais dos respectivos reservatórios. A Tabela 5 apresenta a estatística de pluviometria média anual de cada uma das bacias contribuintes aos açudes nas duas bacias. O Anexo A, por sua vez, apresenta as ponderações obtidas por Thiessen para cada açude estudado.

Tabela 5 – Pluviometria média anual por açude.

Açude	Pluv. Anual (mm)	Açude	Pluv. Anual (mm)
Jaburu I	1444	Cupim	623
Piracuruca	1014	Barra Velha	608
Caldeirão	1251	Sucesso	791
Tinguis	1294	Realejo	937

Açude	Pluv. Anual (mm)	Açude	Pluv. Anual (mm)
Corredores	1350	Fronteiras	737
Joana	1176	Inhuçu	745
Colina	617	Lontras	692
Flor do Campo	642	Castelo	793
Carnaubal	772	Mesa de Pedra	793
Jaburu II	638	Milagres	768

1.2.4 Dados de Evaporação e Evapotranspiração

Foram levantados os seguintes dados de evaporação e evapotranspiração nas bacias:

- Para os a região dos açudes Piracuruca, Tinguís, Caldeirão, Corredores e Joana foi levantada a estação climatológica de Piripiri. Estas observações foram iniciadas em 1966, pela SUDENE, em tanques classe A.
- Para a região dos açudes Castelo, Milagres e Mesa de Pedra foi levantada a estação climatológica de Teresina, código 82578, extraída das Normais Climatológicas de 1961 a 1990 (Departamento Nacional de Meteorologia, 1992).
- Para a região dos açudes Realejo, Fronteiras, Inhuçu e Lontras foram levantados os dados de evaporação constantes do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (1992). A estação utilizada foi a de Crateús, pelo fato de pertencer à bacia.
- Demais açudes possuem Fichas Técnicas, fornecidas pela COGERH, com dados de evaporação por atmômetro de Pichê.

1.2.5 Geração das séries pseudo-históricas de vazão a partir de Modelo Chuva-Deflúvio

Escolha do Modelo Chuva - Deflúvio Utilizado

Os principais aspectos analisados para a escolha do modelo chuva-deflúvio utilizado foram:

- disponibilidade de dados fluviométricos compatíveis com as exigências de calibração e validação do modelo;
- formulação conceitual compatível com as condições e regime hidroclimatológico da região;
- experiência regional prévia na aplicação do modelo. É importante que o modelo escolhido disponha de um acervo de parâmetros na região que facilitem as calibrações, orientando a busca e limitando o universo de valores possíveis dos parâmetros;

- iv) grau de detalhe pretendido no conhecimento dos deflúvios para cada unidade hidrográfica. O modelo, preferivelmente, deve ter sido desenvolvido para bacias com as mesmas dimensões das que se pretende estudar;
- v) possibilidade de regionalização dos parâmetros do modelo hidrológico para as outras bacias sem dados fluviométricos.

Tendo em vista a consideração destes aspectos, o modelo escolhido para a geração de séries pseudo-históricas de deflúvios foi o modelo denominado CN-3S (Freitas e Taborga, 1987).

O modelo baseia-se nas relações desenvolvidas pelo U.S. Conservation Service (SCS) para as curvas CN (Curve Number) e é composto de seis parâmetros de calibragem.

Trata-se de um modelo conceitual para a geração de deflúvios que foi aplicado em diversos estudos hidrológicos no semi-árido do Piauí, Ceará, Pernambuco e Paraíba (Freitas e Porto, 1990). O modelo determinístico chuva-vazão CN-3S (Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation) foi desenvolvido com o objetivo de gerar vazões sintéticas para a simulação de operações de reservatórios. O CN-3S utiliza como dados de entrada, necessários ao cálculo da lâmina de escoamento superficial de um determinado intervalo de tempo, a precipitação pluviométrica do próprio período e as precipitações dos três períodos antecedentes.

O CN-3S é um modelo hidrológico do tipo concentrado no espaço, visto que não considera a variação espacial das características fisiográficas intervenientes no processo de transformação chuva x deflúvio.

Ajuste do Modelo

O modelo possui no total 06 parâmetros que, apesar de terem relação física com características da bacia (de forma análoga ao modelo do SCS), podem ser ajustados através de otimização.

Para este trabalho, foi adotado o intervalo de tempo mensal, tanto para calibração do modelo quanto para geração das séries pseudo-históricas de vazões. A Tabela 6 apresenta um resumo dos ajustes realizados nas bacias estudadas.

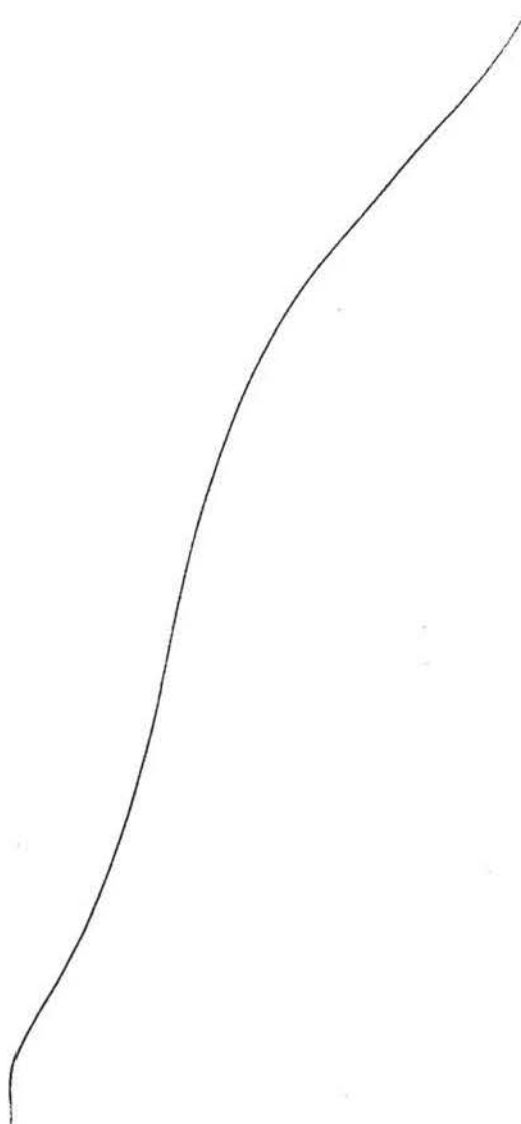
Tabela 6 – resumo dos ajustes do modelo CN-3S

Ajuste	Posto fluviométrico utilizado	Código do posto	Período de dados	Pluviometria média anual na bacia (mm)	Açudes que tiveram suas séries geradas pelo ajuste
1	Congos	34948000	1975 a 1985	1.125	Açudes da bacia do rio Longá
2	Faz. Boa Esperança	34750000	1965 a 2000	855	Açudes da bacia do rio Poti
3	Ararius	35263000	1984 a 1994	1.246	Jaburu I, Inhuçu e Lontras

- O ajuste 1, utilizado para a geração das séries afluentes aos açudes da bacia do rio Piracuruca, sub-afluente do rio Longá, foi obtido do posto fluviométrico de Congos, o qual se localiza na bacia do rio Piracuruca, mais especificamente no rio dos Matos. Este ajuste já havia sido realizado no Projeto Executivo da Barragem Tinguís (DNOCS / Sirac, 1986).
- O ajuste 2, utilizado para os açudes da bacia do rio Poti, foi obtido a partir do posto Fazenda Boa Esperança, no rio Poti (próximo à Castelo do Piauí). Este posto possui dados de 1965 a 2000. Para o ajuste, utilizaram-se os dados de 1965 a 1979, uma vez que a partir do ano de 1980, foram construídos vários açudes a montante do posto.
- O ajuste 3, utilizado para os açudes Jaburu I, Inhuçu e Lontras, teve como base o posto Ararius, da bacia do rio Acaraú. Apesar de pertencer à outra bacia, este posto fica próximo aos açudes Jaburu I, Inhuçu e Lontras. Além disso, sua área de drenagem (600 km²) é compatível com as áreas de contribuição aos açudes e o regime de chuvas na sua bacia é semelhante ao da bacia vizinha.

A Figura 8 apresenta a localização dos postos fluviométricos utilizados nos ajustes.

Figura 8 – arquivo anexo



A função-objetivo (F.O.) que melhor ajustou as vazões observadas e calculadas, principalmente em termos de compatibilização dos volumes escoados, foi a F.O. quadrática, que segue a Equação 1.

$$F.O. = \text{Min} \sum (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{cal}})^2 \quad (1)$$

As Figuras 9 e 10 apresentam os resultados dos ajustes 2 e 3 do modelo CN-3S. A Tabela 7 apresenta os valores dos parâmetros após o ajuste do modelo CN-3S.

Tabela 7 – resumo dos parâmetros ajustados

Ajuste	CN1	alfa	beta	K0	K1	K2
1	10,0	0,20	0,0013	0,92	0,0900	0,35
2	12,7	0,29	0,0040	0,30	0,0500	0,49
3	18,2	0,11	0,0028	0,68	0,1000	0,38

Geração das séries pseudo-históricas de vazões

As séries de vazões foram geradas a partir das séries de precipitação, cujas extensões são de 89 anos (1913 a 2001). As Tabelas 8 e 9 apresentam as estatísticas das séries de deflúvios afluentes aos açudes geradas pelo modelo chuva-deflúvio.

As etapas desse trabalho para a geração das séries de vazões - consistência das séries pluviométricas, espacialização da pluviometria e aplicação do modelo chuva-vazão CN-3S - apresentaram resultados compatíveis com os valores esperados para a região, em termos de coeficientes de escoamento calculados, permitindo, a partir de tais resultados, considerar representativos das disponibilidades das bacias os estudos feitos a partir das séries pseudo-históricas obtidas.

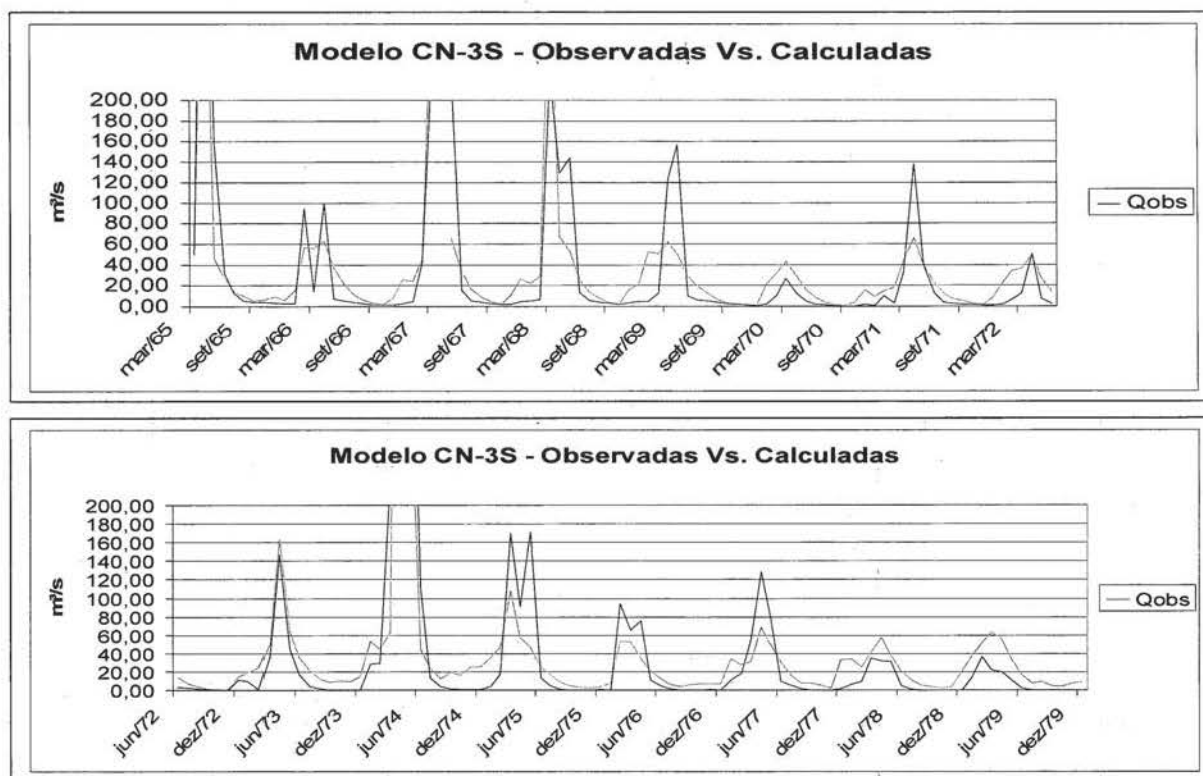


Figura 9 - Vazões observadas X Vazões calculadas pelo ajuste 2 do modelo CN-3S (Posto Fazenda Boa Esperança - 34750000)

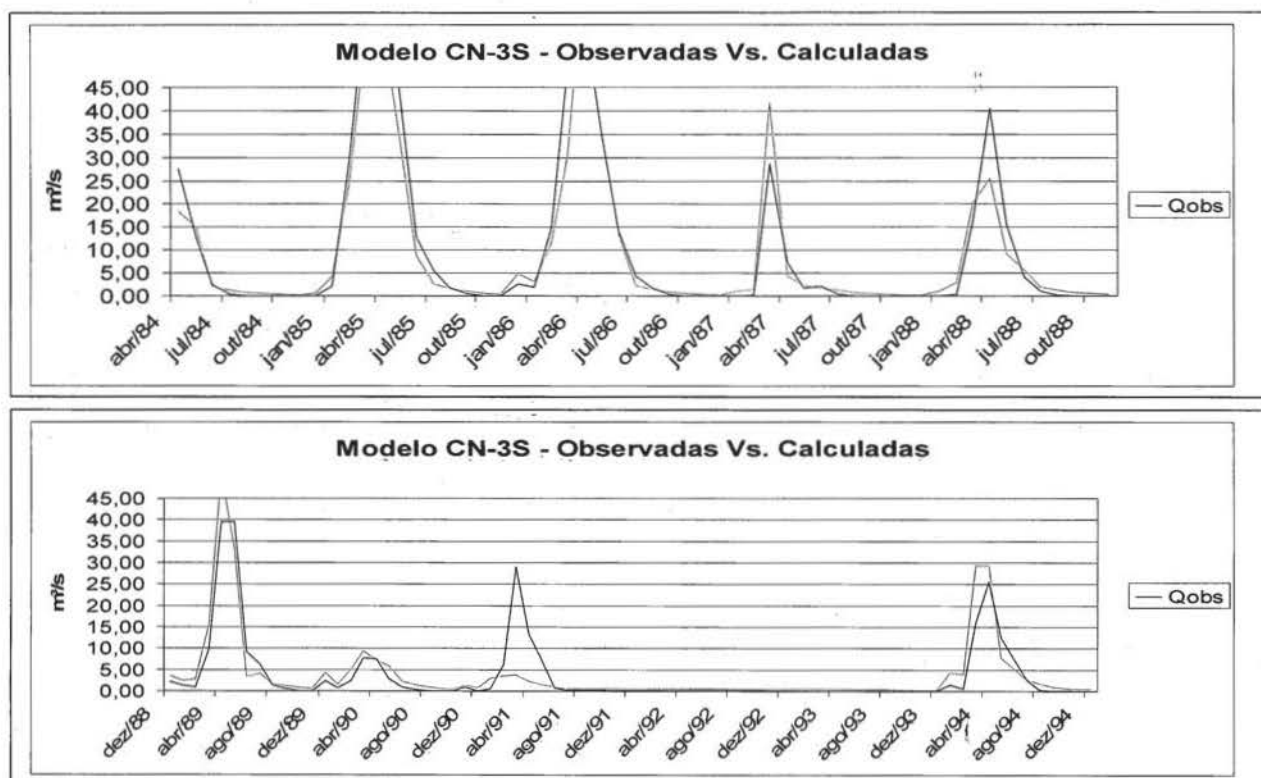


Figura 10 - Vazões observadas X Vazões calculadas pelo ajuste 3 do modelo CN-3S (Posto Ararius – 35263000)

Tabela 8 – Estatísticas dos deflúvios afluentes aos açudes das bacias do rio Longá.

Bacia do rio Longá																
Açude		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual	Coef. Esc.¹	
Jaburu I	Média (mm)	18,4	58,6	139,2	171,8	79,5	19,5	8,7	5,3	3,6	2,6	2,3	4,2	513,6	35,9%	
	DP (mm)	22,4	61,4	92,0	127,4	79,6	18,3	4,5	1,5	1,2	1,1	1,3	4,9	315,6		
	CV	1,2	1,1	0,7	0,7	1,0	0,9	0,5	0,3	0,3	0,4	0,5	1,2	0,6		
Piracuruca	Média (mm)	5,7	9,2	15,7	24,5	15,5	9,9	6,9	4,6	3,2	2,4	2,2	2,9	102,7	10,2%	
	DP (mm)	2,3	3,3	9,0	25,3	10,4	3,5	2,4	1,6	1,1	0,9	0,9	1,5	52,7		
	CV	0,4	0,4	0,6	1,0	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5		
Caldeirão	Média (mm)	7,6	14,8	35,7	45,0	20,3	11,2	7,7	5,1	3,5	2,7	2,6	3,8	160,0	12,9%	
	DP (mm)	3,6	15,8	49,2	53,7	17,7	4,0	2,6	1,7	1,2	1,1	1,2	2,2	122,8		
	CV	0,5	1,1	1,4	1,2	0,9	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8		
Tinguis	Média (mm)	7,6	13,4	31,6	45,2	21,4	12,0	8,3	5,6	3,9	3,0	2,8	3,9	158,5	12,3%	
	DP (mm)	3,2	7,8	29,0	46,0	16,1	3,7	2,6	1,8	1,3	1,1	1,2	2,1	93,0		
	CV	0,4	0,6	0,9	1,0	0,8	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6		
Corredores	Média (mm)	7,8	15,7	41,6	54,9	24,2	12,1	8,3	5,6	3,9	2,9	2,8	4,0	183,8	13,7%	
	DP (mm)	4,0	12,4	48,0	57,0	25,1	3,8	2,8	1,9	1,4	1,1	1,3	2,7	123,6		
	CV	0,5	0,8	1,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7		
Joana	Média (mm)	8,0	19,1	45,3	49,1	20,6	10,5	6,7	4,4	3,0	2,3	2,4	3,3	174,5	14,9%	
	DP (mm)	8,6	40,7	105,5	87,1	28,2	8,7	2,8	1,9	1,3	1,2	1,5	2,5	225,2		
	CV	1,1	2,1	2,3	1,8	1,4	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	1,3		

1 - Coeficiente de Escoamento: razão entre o deflúvio médio anual (mm) e a precipitação média anual (mm), expresso em percentagem.

DP – Desvio padrão. CV – Coeficiente de variação (adimensional).

Tabela 9 – Resumo dos deflúvios afluentes aos açudes das bacias do rio Poti.

Bacia do rio Poti															
Açude		jan	fev	Mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual	Coef. Esc.
Colina	Média (mm)	2,7	4,2	7,4	10,6	4,2	2,4	1,3	0,7	0,4	0,4	0,6	1,3	36,1	5,8%
	DP (mm)	1,8	1,9	6,3	18,0	2,0	1,2	0,6	0,4	0,2	0,3	0,5	1,3	24,4	
	CV	0,7	0,5	0,9	1,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	0,7	
Flor do Campo	Média (mm)	2,7	4,3	7,8	11,1	4,5	2,5	1,4	0,8	0,5	0,4	0,6	1,3	37,8	5,9%
	DP (mm)	1,5	1,9	7,4	17,6	2,0	1,2	0,7	0,4	0,2	0,3	0,5	1,1	25,1	
	CV	0,6	0,4	0,9	1,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,9	0,9	0,7	
Carnaubal	Média (mm)	3,2	5,2	12,0	17,6	5,5	3,1	1,7	1,0	0,6	0,6	0,8	1,5	52,5	8,5%
	DP (mm)	1,5	2,3	13,7	29,3	2,5	1,3	0,8	0,5	0,3	0,4	0,6	1,1	44,4	
	CV	0,5	0,4	1,2	1,7	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	
Jaburu II	Média (mm)	2,6	4,3	7,5	10,6	4,8	2,7	1,5	0,8	0,5	0,4	0,6	1,2	37,4	5,8%
	DP (mm)	1,3	2,6	5,6	18,0	4,0	1,3	0,7	0,4	0,3	0,3	0,5	0,9	27,7	
	CV	0,5	0,6	0,8	1,7	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,7	
Cupim	Média (mm)	2,5	4,3	7,8	10,7	5,0	2,6	1,5	0,8	0,5	0,4	0,6	1,1	37,7	6,0%
	DP (mm)	1,4	3,5	7,5	19,7	6,1	1,4	0,7	0,5	0,3	0,3	0,5	1,1	33,0	
	CV	0,6	0,8	1,0	1,8	1,2	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	
Barra Velha	Média (mm)	2,3	4,5	8,8	11,6	4,9	2,6	1,4	0,8	0,4	0,3	0,5	1,0	39,1	6,4%
	DP (mm)	1,6	5,3	10,9	20,9	5,1	1,4	0,7	0,4	0,2	0,3	0,6	1,2	35,5	
	CV	0,7	1,2	1,2	1,8	1,0	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	1,2	1,2	0,9	
Sucesso	Média (mm)	3,3	7,5	14,7	22,0	5,9	3,1	1,7	1,0	0,6	0,5	0,7	1,4	62,3	7,8%
	DP (mm)	1,8	18,7	20,0	43,0	4,4	1,3	0,7	0,5	0,3	0,3	0,6	1,2	66,9	
	CV	0,6	2,5	1,4	2,0	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	0,8	1,1	
Realejo	Média (mm)	4,0	7,4	21,3	29,1	7,2	3,7	2,1	1,2	0,7	0,7	1,0	1,9	80,3	8,5%
	DP (mm)	1,8	7,2	29,2	44,7	5,6	1,5	0,9	0,6	0,4	0,4	0,7	1,3	74,5	
	CV	0,5	1,0	1,4	1,5	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9	
Fronteiras	Média (mm)	3,0	5,0	10,6	15,7	5,4	3,0	1,7	0,9	0,5	0,5	0,7	1,4	48,4	6,6%
	DP (mm)	1,5	2,8	11,3	23,9	3,8	1,3	0,7	0,4	0,2	0,3	0,6	1,1	37,5	
	CV	0,5	0,6	1,1	1,5	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	

Tabela 9 (continuação)

Bacia do rio Poti															
Açude		jan	fev	Mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual	Coef. Esc.
Inhuçu	Média (mm)	4,8	13,2	35,5	49,0	20,0	7,6	4,9	3,2	2,1	1,5	1,3	2,0	145,0	19,6%
	DP (mm)	3,0	13,0	32,0	57,2	22,1	3,6	1,9	1,2	0,8	0,6	0,8	1,4	115,3	
	CV	0,6	1,0	0,9	1,2	1,1	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	
Lontras	Média (mm)	4,6	11,4	29,8	39,7	15,9	7,0	4,6	3,0	1,9	1,4	1,3	2,0	122,7	17,8%
	DP (mm)	2,9	10,7	26,0	46,7	16,8	3,1	1,7	1,1	0,7	0,6	0,8	1,4	92,3	
	CV	0,7	0,9	0,9	1,2	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	
Castelo	Média (mm)	3,4	5,7	12,6	17,2	5,8	3,0	1,7	0,9	0,6	0,6	0,9	1,7	54,0	6,8%
	DP (mm)	1,6	4,6	14,3	25,2	4,8	1,3	0,7	0,4	0,3	0,4	0,7	1,1	43,8	
	CV	0,5	0,8	1,1	1,5	0,8	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	
Mesa de Pedra	Média (mm)	3,7	6,0	12,7	15,1	5,2	2,9	1,6	0,9	0,6	0,6	1,1	1,9	52,3	6,6%
	DP (mm)	1,6	5,1	14,1	19,8	2,2	1,2	0,7	0,4	0,3	0,4	0,8	1,4	37,2	
	CV	0,4	0,9	1,1	1,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	
Milagres	Média (mm)	3,4	5,4	11,9	17,5	5,1	2,9	1,6	0,9	0,6	0,6	0,9	1,7	52,4	6,8%
	DP (mm)	1,6	2,7	13,6	30,9	2,3	1,3	0,7	0,4	0,3	0,4	0,7	1,3	44,2	
	CV	0,5	0,5	1,1	1,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	

1.2.6 Simulação da disponibilidade nas bacias

Escolha do Modelo de Simulação da Bacia

O modelo adotado para a simulação dos reservatórios foi o AcquaNet (USP, 2002). Trata-se de um modelo de simulação de bacias por meio de redes de fluxo que, a partir da equação de balanço hídrico e restrições físicas e operativas dos reservatórios, simula o atendimento às demandas, fornecendo a garantia desse atendimento.

Para aplicação do modelo AcquaNet, são necessários os seguintes dados:

- Séries de vazões afluentes aos reservatórios, naturais ou geradas pelo modelo chuva-deflúvio;
- Relações cota-área-volume dos reservatórios;
- Evaporações médias mensais efetivas nos reservatórios, calculadas a partir das evaporações médias mensais, descontadas das precipitações médias mensais sobre os reservatórios.
- Séries de vazões das bacias incrementais;
- Volumes de alerta e volumes mortos dos reservatórios;
- Demandas da bacia;
- Níveis de prioridade no atendimento às demandas. Neste caso, a manutenção de um volume-meta nos reservatórios também é entendida pelo modelo como uma demanda, com uma determinada prioridade.

1.2.7. Aplicação do Modelo

Para a aplicação do modelo AcquaNet foram necessários os dados de evaporação líquida sobre os açudes, conforme item 2.4.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os dados de evaporação utilizados.

Tabela 10 – Dados de evaporação (mm) utilizados nas simulações dos açudes.

Posto	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
Estação Piripiri (tanque classe A)	203	161	167	154	144	150	187	214	259	270	240	223	2372
Estação Teresina (atmômetro Piche)	89	61	67	59	77	111	167	192	207	252	184	141	1606
Estação Crateús (tanque classe A)	250	147	112	97	134	188	275	327	358	395	372	334	2989

Tabela 11 – Dados de evaporação (mm) utilizados nas simulações dos açudes – atmômetro de Piche.

açude	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Barra Velha	213	149	115	96	126	168	268	322	342	398	380	327	2904
Carnaubal	213	149	115	96	126	168	268	322	342	398	380	327	2904
Colina	220	161	119	129	132	166	226	248	274	308	290	276	2548
Cupim	213	149	115	96	126	168	268	322	342	398	380	327	2904
Flor do Campo	213	149	115	96	126	168	268	322	342	398	380	327	2904
Jaburu I	120	86	70	74	74	96	140	172	187	228	219	196	1662
Jaburu II	213	149	115	96	126	168	268	322	342	398	380	327	2904
Sucesso	160	149	115	96	126	168	268	322	342	398	380	327	2904

Os valores de evaporação extraídos de tanques classe A e atmômetros de Piche foram multiplicados por um coeficiente de 0,75, para estimativa de evaporação direta dos reservatórios

1.3. RESULTADOS

Cenários de disponibilidades

Para a avaliação das disponibilidades foram desenvolvidos três cenários de disponibilidade hídrica:

Cenário 1 – Bacia nas condições naturais: o cenário 1 procurou avaliar a disponibilidade hídrica nos diversos trechos das bacias, desconsiderando quaisquer alterações no regime hidrológico proporcionadas por intervenções hídricas. A justificativa para a simulação deste cenário é a necessidade de avaliar o ganho em termos de disponibilidades pelos reservatórios existentes e projetados nas bacias.

Cenário 2 – Bacias com a infra-estrutura atual: neste cenário avaliou-se a disponibilidade hídrica com as regularizações obtidas pelos reservatórios atualmente existentes.

Cenário 3 – Bacias com a infra-estrutura atual + infra-estrutura projetada: o cenário 3 procura avaliar a disponibilidade hídrica para um cenário futuro na bacia, contemplando a infra-estrutura prevista em estudos e projetos.

Para a estimativa das disponibilidades, foi considerada toda a cascata de açudes. Assim, para estimar a regularização de cada açude, foram considerados os consumos dos açudes de montante como sendo a vazão regularizada com 100% de garantia. Significa que as vazões afluentes a determinado açude compõem-se dos vertimentos dos açudes de montante mais a vazão incremental.

A Tabela 12 apresenta um resumo das disponibilidades na bacia do rio Piracuruca, nos 3 cenários estudados.

A Tabela 13 apresenta um resumo das disponibilidades na bacia do rio Poti, nos 2 primeiros cenários estudados (bacia nas condições naturais e açudagem existente). Os resultados para a infraestrutura projetada (cenário 3) serão discutidos adiante.

Tabela 12 – Resumo da disponibilidade hídrica (m³/s) na bacia do rio Longá, por trecho e por cenário estudado.

Bacia do rio Longá										
Açude	Cenário 1 – séries naturais afuentes aos açudes¹				Cenário 2 – Infra-estrutura atual			Cenário 3 – Infra-estrutura atual + projetada		
	Q100	Q95	Q90	Qmlt²	Q100	Q95	Q90	Q100	Q95	Q90
Jaburu I	0,06	0,19	0,25	5,23	2,40	3,60	4,20	2,40	3,60	4,20
Piracuruca	0,84	2,49	3,16	18,02	8,05	11,25	13,08	8,05	11,25	13,08
Caldeirão	0,09	0,29	0,37	2,27	1,10	1,38	1,55	1,10	1,38	1,55
Tinguis	0,58	1,78	2,20	12,36	-	-	-	6,02	7,50	8,40
Corredores	0,10	0,37	0,52	3,40	1,45	2,00	2,23	1,45	2,00	2,23
Joana	0,03	0,13	0,18	1,64	0,45	0,63	0,74	0,45	0,63	0,74
Total*	1,55	4,77	6,06	42,92	13,45	18,86	21,80	19,47	26,36	30,20

¹ Afluências naturais da área de contribuição a montante do açude, inclui as áreas de contribuição aos açudes de montante.

² Qmlt: Vazão média de longo termo

* bacia do rio Piracuruca + rio dos Matos + bacias dos açudes Corredores e Joana

Tabela 13 – Resumo da disponibilidade hídrica (m³/s) na bacia do rio Poti, por trecho e por cenário estudado.

Açude	Cenário 1 – séries naturais afluentes aos açudes				Cenário 2 – Infra-estrutura atual		
	Q100	Q95	Q90	Qmlt	Q100	Q95	Q90
Colina	0,00	0,02	0,03	0,43	0,07	0,15	0,18
Flor do Campo	0,01	0,04	0,06	0,79	0,19	0,33	0,39
Carnaubal	0,04	0,18	0,27	3,19	1,10	1,68	1,86
Jaburu II	0,02	0,08	0,11	1,09	0,35	0,57	0,66
Cupim	0,00	0,02	0,03	0,28	0,11	0,15	0,17
Barra Velha	0,00	0,03	0,05	1,07	0,36	0,53	0,64
Sucesso	0,01	0,03	0,04	0,57	0,19	0,25	0,29
Realejo	0,01	0,03	0,04	0,54	0,21	0,29	0,34
Fronteiras	0,25	0,83	0,54	14,53	-	-	-
Inhuçu	0,05	0,28	0,39	4,25	-	-	-
Lontras	0,08	0,43	0,60	6,30	-	-	-
Castelo	0,32	1,44	2,01	35,06	-	-	-
Mesa de Pedra	0,24	0,78	1,07	10,73	3,72	4,95	5,63
Milagres*	0,10	0,47	0,68	7,14	4,84	5,48	5,95
Total:	0,66	2,69	3,76	52,93	6,30	8,90	10,16

* açude ainda não construído e, mesmo quando em operação, não interferirá em outros açudes da bacia.

1.4. PROPOSTAS DE DEFINIÇÃO DE VOLUMES DOS NOVOS AÇUDES DA BACIA DO RIO POTI

Analisando os resultados de vazão regularizada para os 4 açudes previstos para a bacia do rio Poti, através do modelo AcquaNet, verificou-se que alguns dos açudes, nos seus volumes de projeto, estão superdimensionados para os volumes afluentes que eles recebem, considerando a açudagem existente e prevista na bacia. Isto se deve ao fato de que, no projeto de novas obras na bacia, não foram levados em consideração, em alguns casos, os açudes existentes e previstos em outros projetos. Assim, o subgrupo de hidrologia estudou uma configuração dos volumes dos novos açudes previstos na bacia, de modo que os mesmos não resultassem superdimensionados, fornecendo subsídios ao GAI para definição destes volumes.

Para definição dos volumes das 4 obras previstas na bacia do rio Poti – Fronteiras, Inhuçu, Lontras e Castelo, foram utilizadas as relações volume útil X vazão regularizada para as intervenções

previstas, a partir do modelo AcquaNet, considerando todos os açudes já existentes na bacia. A Figura 11 apresenta uma topologia das obras previstas na bacia do rio Poti, com seus volumes de projeto.

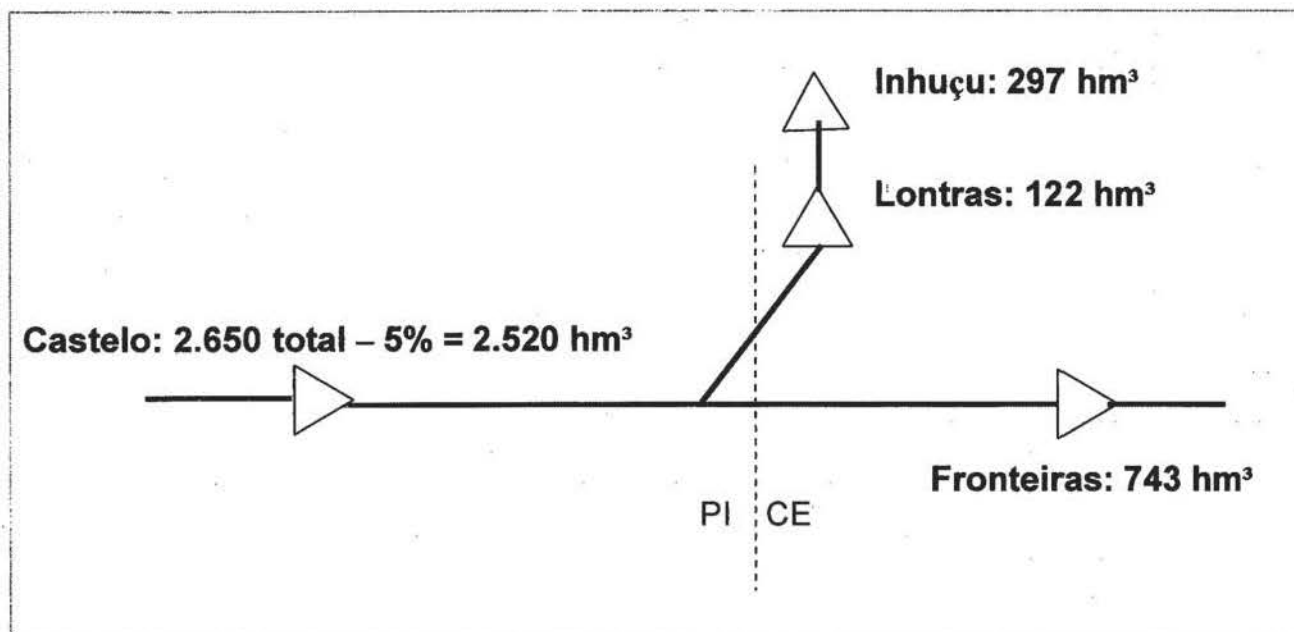


Figura 11 – Volumes úteis constantes dos projetos previstos para a bacia do rio Poti.

Nos volumes de projeto, verifica-se que as vazões regularizadas pela construção dos 4 açudes não agrega disponibilidade em relação à construção de uma quantidade menor de açudes. Ou seja, pode-se dizer que, nos volumes de projeto, o conjunto de açudes não está agregando disponibilidade hídrica ao sistema, em relação à construção de apenas alguns dos açudes previstos. Esta conclusão fica aparente na Tabela 14.

Tabela 14 – Vazões regularizadas (100% de garantia) pelas diferentes combinações de açudes previstos em seus volumes de projeto (m^3/s)

Inhuçu/Lontras $V_u = 419 \text{ hm}^3$	Fronteiras $V_u = 743 \text{ hm}^3$	Castelo $V_u = 2.520 \text{ hm}^3$	Volume Total (hm^3)	Vazão regularizada
3,05	4,65	11,35	3.682	19,05
	4,65	15,35	3.263	20,00
3,05		17,05	2.939	20,10
		21,00	2.520	21,00

Analisando a Tabela 14, verifica-se que, a rigor, a construção de 1 único barramento de grande volume maximizaria a vazão regularizada na bacia. No entanto, as demandas estão distribuídas espacialmente em vários pontos da bacia, em ambos os Estados. Assim, é de suma importância que se construam açudes em vários pontos da bacia, para distribuição espacial da disponibilidade hídrica.

Entretanto, verifica-se pela Tabela 14 que, nos seus volumes de projeto, os açudes estão superdimensionados, uma vez que para diferentes volumes totais (coluna 4), a vazão regularizada (coluna 5) é pouco alterada. Isto pode ser verificado nas relações volume útil X vazão regularizada para os açudes previstos, conforme apresentado a seguir.

A relação volume útil X vazão regularizada para o sistema Inhuçu-Lontras é apresentada na Figura 12.

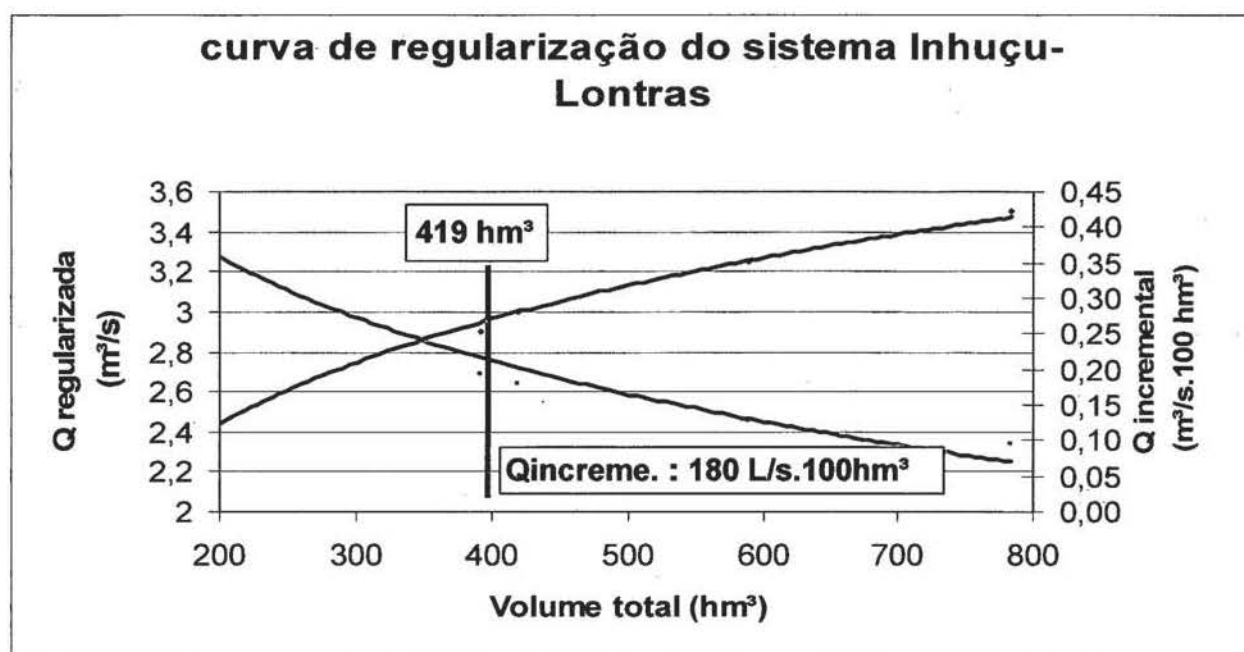


Figura 12 – Relação volume útil X vazão regularizada para o sistema Inhuçu –Lontras e curva de vazão incremental.

Na Figura 12, a linha em preto apresenta a relação volume útil X vazão regularizada do sistema Inhuçu-Lontras. Já a linha magenta representa a vazão incremental para os diversos volumes dos reservatórios; ou seja, representa o acréscimo de vazão em relação ao acréscimo de volume. Desta curva pode-se inferir que, para volumes pequenos do reservatório, um aumento destes volumes representa um aumento razoável da vazão regularizada, representada por um alto valor da vazão incremental. Para o sistema Inhuçu-Lontras, cujo volume útil de projeto é de **419 hm³**, a vazão incremental (linha magenta) para este volume é de **180 L/s.100hm³**. Na ausência de um parâmetro para analisar a razoabilidade econômica do volume de acumulação do projeto (tal como curva de custos do reservatório); julgou-se este projeto razoável, uma vez que o volume de projeto do sistema representa cerca de 2,1 vezes o volume afluente médio anual (VA), que é considerado um indicador de dimensionamento satisfatório para o Nordeste brasileiro. Para o volume de 419 hm³, o sistema Inhuçu-

Lontras regulariza, com 100% de garantia, uma vazão de **3,05 m³/s**, e com 95% de garantia, uma vazão de **3,95 m³/s**.

Para o reservatório Fronteiras, a relação volume útil X vazão regularizada é apresentada na Figura 13.

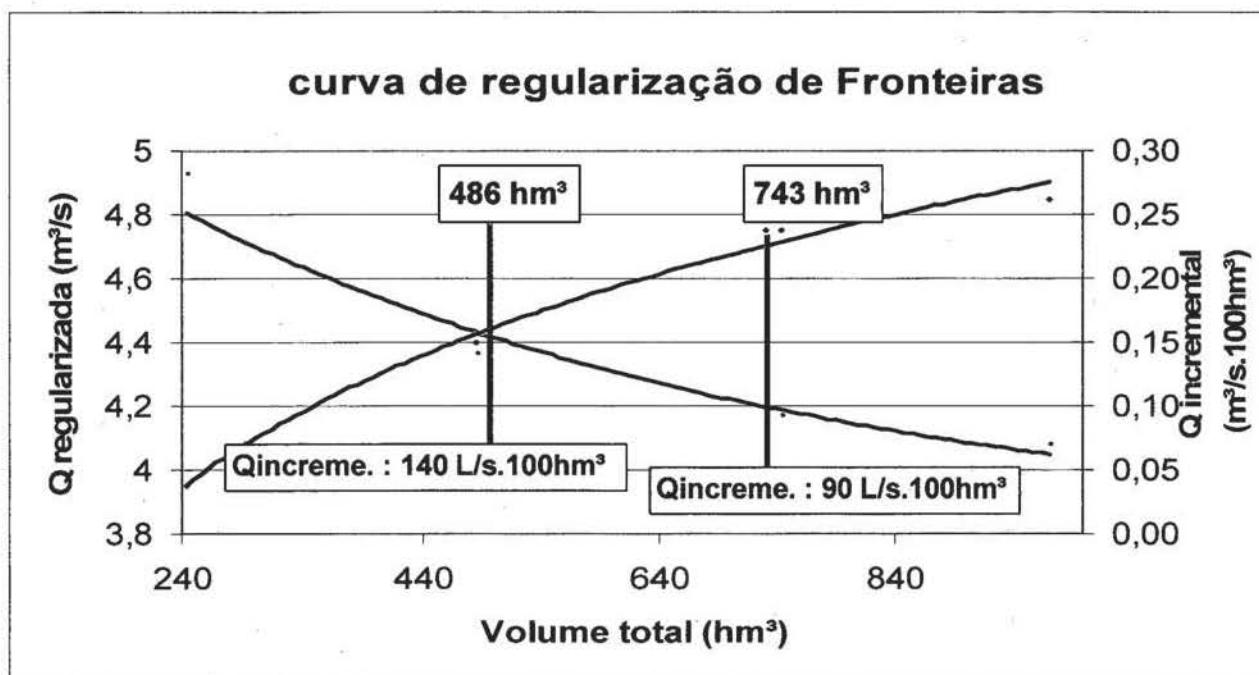


Figura 13 – Relação volume útil X vazão regularizada para o açude Fronteiras e curva de vazão incremental.

Nota-se, pela Figura 13, que, para o volume útil de projeto (743 hm³), a vazão incremental do açude Fronteiras é de 90 L/s.100hm³. Este valor está bem abaixo do valor encontrado para o sistema Inhuçu-Lontras (180 L/s.100hm³), indicando que o volume de projeto de Fronteiras está numa faixa onde o ganho de vazão regularizada é pequeno e pode não justificar um ganho de volume. Outro indicador do superdimensionamento do projeto é de que tal volume representa aproximadamente 3 vezes o volume afluente médio anual (VA).

Assim, adotando-se como volume útil para Fronteiras o equivalente a 2 vezes o volume afluente médio anual (**486 hm³**), encontra-se uma vazão incremental de **140 L/s.100hm³**, valor mais próximo ao encontrado no sistema Inhuçu-Lontras, e que foi considerado razoável pelo subgrupo de hidrologia, uma vez que parte da vazão regularizada pelo açude Fronteiras deverá ser mantida para perenização do

rio Poti, beneficiando também o Estado vizinho do Piauí. Para o volume de 486 hm^3 , o açude Fronteiras regulariza, com 100% de garantia, uma vazão de **4,40 m^3/s** , e com 95% de garantia, uma vazão de **5,75 m^3/s** .

Para o reservatório Castelo, a relação volume útil X vazão regularizada é apresentada na Figura 14.

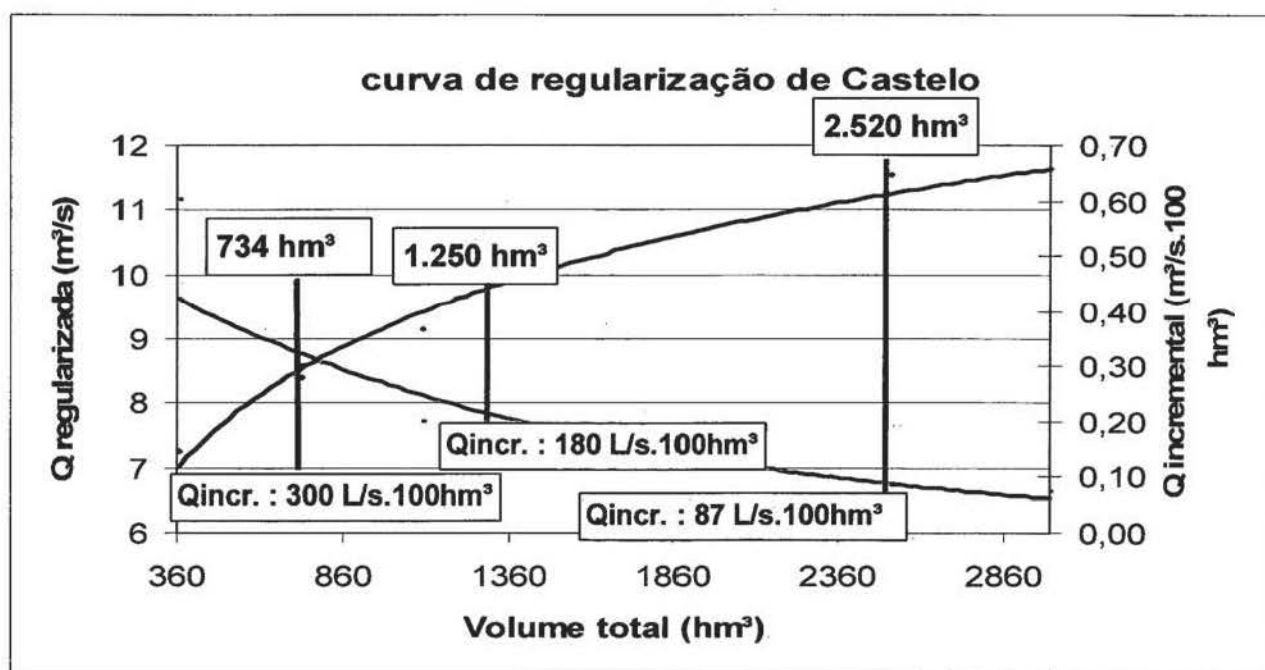


Figura 14 – Relação volume útil X vazão regularizada para o açude Castelo e curva de vazão incremental (considerando sistema Inhuçu-Lontras com volume útil de 419 hm^3 e Fronteiras com 486 hm^3)

Na Figura 14, verifica-se que o açude Castelo, em seu volume útil de projeto, apresenta uma vazão incremental de 87 $\text{L/s} \cdot 100 \text{ hm}^3$, valor baixo em relação aos demais volumes de projeto da bacia. Reduzindo-se o volume útil de projeto para 734 hm^3 , equivalente a 2 vezes o volume afluente médio anual (VA), encontra-se uma vazão incremental de 300 $\text{L/s} \cdot 100 \text{ hm}^3$. Assim, infere-se que, para o açude Castelo, é justificável que seu volume de projeto seja maior que duas vezes o VA, pois a vazão incremental ainda está num valor acima do encontrado para os demais projetos. Propondo-se um volume útil igual a **1.250 hm^3** , encontra-se uma vazão incremental de **180 $\text{L/s} \cdot 100 \text{ hm}^3$** , valor compatível com os demais projetos da bacia. Para um volume de 1.250 hm^3 o açude Castelo regulariza, com 100% de garantia, uma vazão de **9,5 m^3/s** , e com 95% da garantia, uma vazão de **11,3 m^3/s** .

A Tabela 15 apresenta comparações entre os volumes úteis de projeto dos açudes previstos e a proposta do subgrupo 1 para os volumes úteis.

Tabela 15 – Comparativo entre volumes úteis dos projetos e da proposta do subgrupo.

	projeto	Qincremental	proposta	Qincremental
	hm³	L/s.100.hm³	hm³	L/s.100.hm³
Inhuçu/Lontras	419	180	419	180
Fronteiras	743	90	486	140
Castelo	2520	90	1250	180

As análises acima se limitaram a readequar os volumes dos quatro novos açudes projetados para a bacia do rio Poti. Para garantir que estes açudes recebam as vazões afluentes necessárias para atendimento aos seus usos previstos, é necessário propor um limite de regularização na bacia, uma vez que a construção de novos açudes, além dos previstos, pode não acrescentar benefícios na bacia em termos de vazão regularizada total.

Especialmente na questão das relações entre os dois Estados da bacia, a construção de novos açudes no Ceará além dos três já previstos (Fronteiras, Inhuçu e Lontras), pode reduzir a vazão regularizada pelo açude a ser construído no Piauí (Castelo). Assim, a proposta do subgrupo 1 é de os volumes máximos para construção de novos açudes na bacia do rio Poti, até a seção prevista para o açude Castelo, sejam limitados, a princípio, nos volumes de:

- 420 hm³, para a bacia do rio Inhuçu;
- 490 hm³, para a bacia do rio Poti, até a divisa entre os Estados do Ceará e Piauí;
- 1.250 hm³, para a bacia do rio Poti, entre a divisa dos Estados e a seção prevista para o açude Castelo.

Com base nas colocações anteriores o subgrupo 1 propõe que constem no Marco Regulatório a ser celebrado entre os Estados os seguintes artigos:

“O limite hidrológico para o volume útil dos novos açudes na bacia do rio Inhuçu é de 420 hm³, podendo ser ultrapassado caso seja realizada uma revisão deste Marco Regulatório”.

“O limite hidrológico para o volume útil dos novos açudes na bacia do rio Poti, até a divisa entre os Estados do Ceará e Piauí é de 490 hm³, podendo ser ultrapassado caso seja realizada uma revisão deste Marco Regulatório”.

“O limite hidrológico para o volume útil dos novos açudes na bacia do rio Poti, entre a divisa entre os Estados do Ceará e Piauí e a seção prevista para o açude Castelo é de 1.250 hm³, podendo ser ultrapassado caso seja realizada uma revisão deste Marco Regulatório. Novos açudes a jusante da seção prevista para o açude Castelo deverão considerar a açudagem existente e prevista na bacia.”

1.4.1. Consolidação dos dados

A Tabela 16 apresenta a relação das vazões regularizadas com as vazões médias afluentes a cada açude existente e previsto nas bacias.

Tabela 16 – Relação Q95 e Q100 regularizada / Qmlt da bacia incremental de cada açude.

Açude	Q95 / Qmlt	Q100 / Qmlt	Açude	Q95 / Qmlt	Q100 / Qmlt
Jaburu I	0,69	0,46	Cupim	0,53	0,38
Piracuruca	0,88	0,63	Barra Velha	0,50	0,34
Caldeirão	0,68	0,48	Sucesso	0,44	0,33
Tinguis	0,83	0,60	Realejo	0,54	0,39
Corredores	0,59	0,43	Fronteiras	0,74	0,56
Joana	0,38	0,27	Inhuçu/Lontras	0,63	0,48
Colina	0,35	0,16			
Flor do Campo	0,92	0,52	Castelo	0,79	0,67
Carnaubal	0,70	0,46	Mesa de Pedra	0,46	0,35
Jaburu II	0,52	0,32	Milagres	0,77	0,68

Considerando apenas as vazões naturais, com 100% de garantia, as disponibilidades totais são de somente 1,55 m³/s na bacia do rio Longá e 1,04 m³/s na bacia do rio Poti, refletindo o regime de intermitência de vazões em grande porção das duas bacias.

Considerando a infra-estrutura atual, por sua vez, as vazões regularizáveis totais, com 100% de garantia, são 13,45 m³/s na bacia do rio Longá e 6,30 m³/s na bacia do rio Poti. Estes valores - no caso do Longá cerca de 6 vezes maior que a disponibilidade natural; no caso do Poti, 9 vezes - são bastante corroboram que a existência dessa infra-estrutura hídrica é fundamental para a viabilização da ocupação antrópica de ambas as bacias, o que, na verdade, não constitui uma novidade em relação ao Nordeste brasileiro.

Considerando a implantação de todos os açudes previstos para as bacias, as disponibilidades alcançam 19,47 m³/s na bacia do rio Longá e 28,09 m³/s na bacia do rio Poti. Estes valores indicam a possibilidade de expansão da oferta hídrica para as bacias Poti e Longáem, respectivamente, 4,5 e 1,4 vezes a disponibilidade atual, ganhos considerados significantes. As Figuras 15 e 16 apresentam a topologia das duas bacias simuladas no modelo Acquanet.

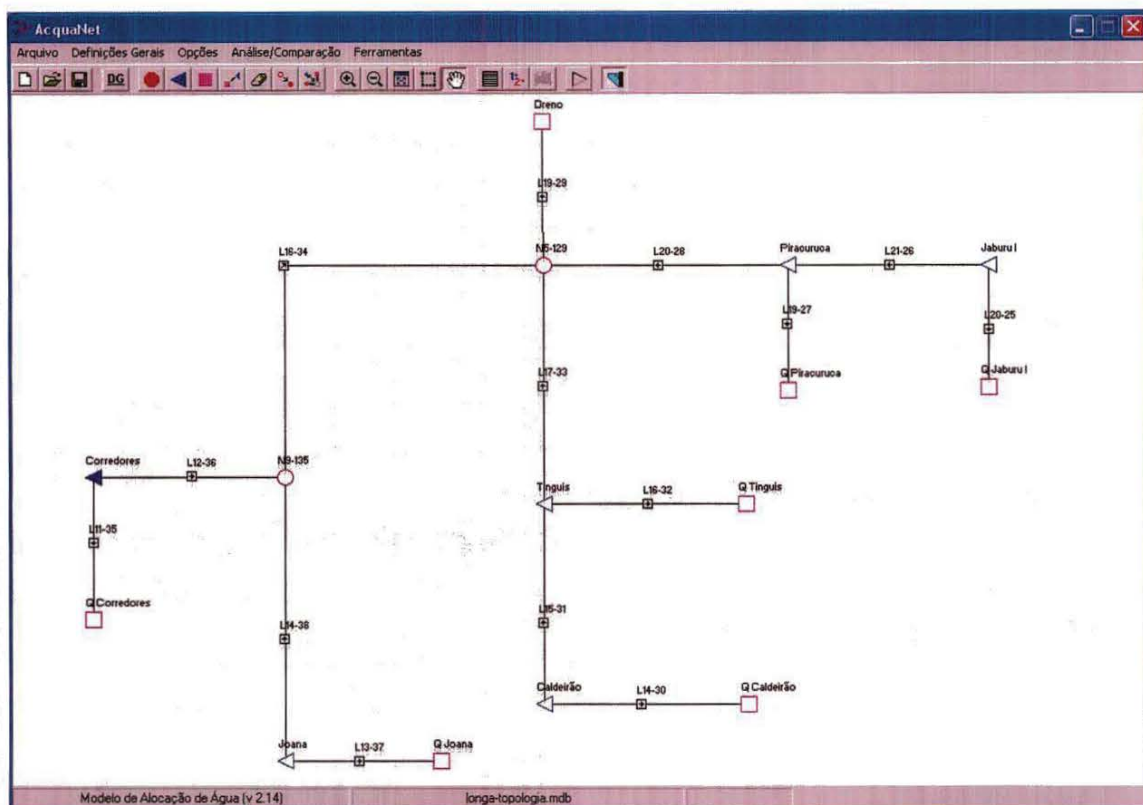


Figura 15 – Topologia da bacia do rio Longá – Modelo AcquaNet.

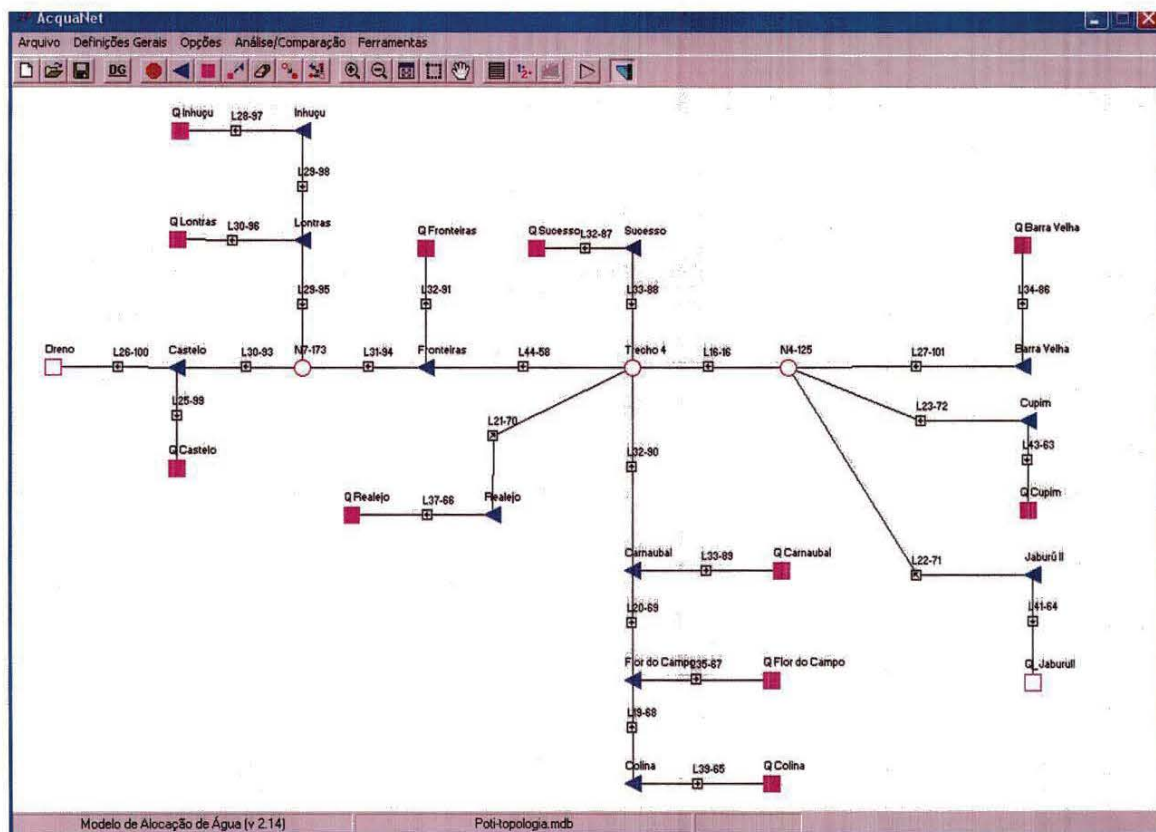


Figura 16 – Topologia da bacia do rio Poti – Modelo AcquaNet.

2. DEMANDAS DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NAS BACIAS DOS RIOS POTI E LONGÁ

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo faz uma verificação do atendimento às demandas atuais e previstas nas bacias dos rios Poti e Longá, com a infra-estrutura existente e prevista nas bacias. Uma vez que não se dispõe de cadastro de usuários nas bacias, esta verificação não pode ser utilizada para alocação de água por trecho da bacia, mas ela serve para verificação dos possíveis não atendimentos a demandas atuais e projetadas em alguns açudes, fornecendo um panorama do balanço hídrico nas bacias.

No que se refere ao estudo de demandas atuais e futuras para a bacia dos rios Poti e Longá, foram consideradas, no âmbito desse estudo, as demandas para os seguintes usos consuntivos:

i) abastecimento humano (urbano e rural); ii) dessedentação animal; iii) irrigação; e, iv) indústria. As demandas foram estimadas considerando as projeções para os seguintes horizontes: 2005 (atual), 2015, 2025 e 2035.

A metodologia específica adotada para cada uso consuntivo, assim como os resultados obtidos, serão apresentados em maiores detalhes nos próximos subitens. Cabe ressaltar que esse capítulo compreendeu uma avaliação potencial da estimativa da demanda com base na análise de indicadores e dados secundários, levantados por diversas instituições, assim como estudos e planos existentes elaborados para a região.

2.2. METODOLOGIA

2.2.1 ABASTECIMENTO HUMANO (URBANO)

O cálculo das demandas para abastecimento considerou o grau de informações levantadas para os municípios da bacia. As considerações adotadas no âmbito desse capítulo foram as seguintes: i) para os municípios e/ou distritos do Estado do Ceará abastecidos por adutoras na bacia, considerou-se as estimativas realizadas no Diagnóstico do Eixo de Integração do Sistema da Ibiapaba (SRH/CE); ii) no

caso de municípios abastecidos por adutora no Estado do Piauí, foram consideradas as estimativas provenientes da Companhia de Desenvolvimento do Piauí – COMDEPI, que elaborou um diagnóstico sobre sistemas adutores para abastecimento humano nas bacias hidrográficas dos rios Poti e Longá; iii) para os demais municípios não contemplados nos planos mencionados anteriormente, adotou-se uma taxa de crescimento geométrico da população urbana, calculada a partir dos dados censitários de população urbana dos municípios da bacia entre os anos de 1991 e 2000, provenientes de Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Nessa estimativa foi utilizado o método de projeção geométrica a partir do ano 2000 para o cálculo das populações nos horizontes 2005, 2015, 2025 e 2035, com o auxílio da seguinte equação:

$$P_t = P_0.(1 + i)^{(t-t_0)}$$

Onde:

P_t = População estimada no ano t ;

P_0 = População estimada no ano 0;

i = taxa de crescimento geométrico.

Nas estimativas dos municípios das bacias foi obtida uma taxa de crescimento geométrico de 2,75% ao ano, que foi adotada para as projeções no âmbito desse estudo. Ao se comparar com os valores obtidos de crescimento para os Estados do Ceará e do Piauí observa-se que há uma tendência de crescimento da população urbana desses Estados entre 2,72% e 2,99% ao ano, números compatíveis com as tendências estaduais (Tabela 17).

Tabela 17 – População urbana e respectivas taxas de crescimento geométrico.

Espaço territorial	População urbana (1991)	População urbana (2000)	Taxa de crescimento geométrico
Municípios integrantes da bacia dos rios Poti e Longá	1.114.315	1.427.275	2,75
Piauí	1.367.184	1.788.590	2,99
Ceará	4.162.007	5.315.318	2,72

No que se refere ao abastecimento dos municípios por adutoras na bacia dos rios Poti e Longá observa-se que na bacia do Rio Poti existem as adutoras de Novo Oriente, Independência e Crateús em operação, que se destinam a abastecer as sedes urbanas dos municípios de mesmo nome. Há, no Estado do Piauí, os projetos das Adutoras Mesa de Pedra e da Adutora da Barragem dos Milagres. A Adutora

da Barragem Mesa de Pedra prevê o abastecimento das sedes urbanas de Elesbão Veloso, Francinópolis, Lagoa do Sítio e Valença do Piauí, enquanto que a Adutora da Barragem dos Milagres prevê o abastecimento das sedes urbanas de Prata do Piauí, Santa Cruz dos Milagres, São João da Serra, São Félix do Piauí e São João dos Milagres.

Na bacia do Rio Longá localiza-se a Adutora Ibiapaba, no Estado do Ceará, que capta água na barragem Jaburu I e abastece as sedes urbanas de Carnaubal, Guaraciaba do Norte, São Benedito, Ibiapina, Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará, sendo previstos, ainda, o abastecimento dos povoados/distritos de Graça, Mucambo e Pacujá, os quais encontram-se fora da bacia. No Estado do Piauí, foi projetada a Adutora Corredores, prevista para beneficiar os municípios de Alto Longá, Campo Maior e Coivaras.

Para a estimativa da demanda para os municípios da bacia não contemplados por planos e/ou projetos, convém frisar que os municípios com sede fora da bacia não foram contemplados para o cálculo da demanda para abastecimento urbano, com exceção dos municípios com previsão de atendimento pelo açude Lontras, através de transposição de vazões para a bacia do rio Acaraú (sedes dos municípios de Ipu, Ipueiras e Nova Russas). Os valores de população urbana foram multiplicados por coeficientes de captação, valores esses calculados especificamente para cada Estado, através de dados originados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) relativos ao ano de 2001. O cálculo desses coeficientes foi realizado através da relação do volume produzido de água e a população urbana atendida. Portanto, o cálculo da demanda para abastecimento urbano foi realizado por meio da seguinte equação:

$$\text{Durb} = \text{Popurb} \times \text{Ccapt} \times (0,001 / 86400)$$

Onde:

Durb = Demanda para abastecimento urbano (m³/s);

Popurb = População urbana (habitantes);

Ccapt = Coeficiente de captação (L/hab.dia).

No que se refere aos valores dos coeficientes de captação para cada Estado, vale destacar que no procedimento de cálculo foram desconsiderados os valores específicos de Fortaleza e Teresina visando estabelecer um cálculo mais homogêneo para os municípios localizados no interior dos Estados integrantes da bacia. Nesse sentido, foi obtido o valor de **154 L/hab.dia**. Observa-se que no cálculo das

demandas para as bacias desconsiderou-se o abastecimento urbano de Teresina, uma vez que o sistema de abastecimento da cidade capta água do rio Parnaíba.

Também optou-se por adicionar às demandas urbanas um percentual da captação para atender às demandas industriais nas sedes dos municípios, admitindo-se que parte das indústrias captam da rede pública de abastecimento. Foi adotado um percentual de 10% das demandas urbanas para o cenário atual (2005), aumentando linearmente até 20% da demanda urbana em 2035.

2.2.2. ABASTECIMENTO HUMANO (RURAL)

Com relação ao cálculo das demandas atuais para abastecimento rural foram utilizados os valores de população rural do ano de 2000, provenientes do IBGE sendo multiplicado por um coeficiente de consumo para abastecimento rural. Nesse caso, adotou-se um valor médio de **100 L/hab.dia** (Rebouças *et al*, 1999). A estimativa da demanda para abastecimento rural foi realizada pela seguinte equação:

$$Drur = Poprur \times Crur \times (0,001 / 86400)$$

Onde:

Drur = Demanda para abastecimento rural (m³/s);

Poprur = População rural (habitantes);

Crur = Coeficiente consumo rural (L/hab.dia);

Na estimativa da demanda de abastecimento rural para cada município, adotou-se a distribuição da área de cada município, através do percentual de área de cada município contido na respectiva bacia hidrográfica.

No caso das estimativas de abastecimento rural para os horizontes considerados no âmbito do projeto, verificou-se uma taxa de crescimento geométrico negativa, calculada a partir dos dados censitários de população rural dos municípios da bacia dos anos de 1991 e 2000 provenientes dos Censos Demográficos do IBGE, conforme metodologia apresentada para o cálculo da população urbana. De acordo com os resultados obtidos foi obtida uma taxa geométrica de -1,12% ao ano. Comparando-se com os resultados obtidos para os Estados do Piauí e do Ceará conforme apresentados na Tabela 18, nota-se também taxas de crescimento negativas da população rural entre os anos de 1991 e 2000, o que pode estar relacionado a uma tendência de migração da população das áreas rurais para urbanas na região.

Tabela 18 – População rural e respectivas taxas de crescimento geométrico

Espaço territorial	População rural (1991)	População rural (2000)	Taxa de crescimento geométrico
Municípios integrantes da bacia dos rios Poti e Longá	844.767	764.077	-1,12
Piauí	1.214.953	1.054.688	-1,57
Ceará	2.204.640	2.115.343	-0,46

Considerando, entretanto, que as políticas públicas deverão manter um crescimento mínimo da população rural, não permitindo um esvaziamento da zona rural, especialmente com a construção das novas obras nas bacias, adotou-se para ambos os Estados um crescimento de **+2% a.a.** para o abastecimento humano rural.

2.2.3. DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

A estimativa da demanda atual para dessedentação animal foi realizada através dos dados do efetivo de cada rebanho provenientes da Produção Pecuária Municipal do IBGE. Os valores de consumo foram extraídos de Rebouças *et al* (1999), onde constam valores padronizados por cabeça (Tabela 19). A estimativa da demanda apresenta-se pela seguinte equação:

$$Dani = \sum (Ri \times Ci) \times (0,001 / 86400)$$

Onde:

Dani = Demanda para dessedentação animal (m³/s);

Ri = Número de cabeças para cada tipo de rebanho;

Ci = Coeficiente de consumo para cada tipo de rebanho (L/ cabeça.dia);

Tabela 19 – Coeficientes de consumo de água para dessedentação animal

TIPO DE REBANHO	CONSUMO (L/CABEÇA.DIA)
Bovinos	50
Suínos	12,5
Bubalinos	50
Eqüinos	50
Asininos	50
Muare	50
Ovinos	10
Caprinos	10
Aves*	0,35

Fonte: Rebouças *et al* (1999).

Cabe observar que os valores estimados de demanda para dessedentação animal também foram ponderados de acordo com a parcela da área do município correspondente na bacia. No caso das estimativas futuras de demanda para dessedentação animal, realizou-se, inicialmente, um levantamento dos efetivos animais dos estados do Piauí e Ceará. Nesse levantamento consideraram-se as séries anuais entre o período de 1996 a 2002, cujos dados foram extraídos da Produção Pecuária Municipal do IBGE.

A partir dos valores totais dos efetivos animais ajustou-se uma função exponencial, para cada tipo de efetivo animal, para auxiliar na projeção das estimativas futuras de demanda para dessedentação animal dos municípios da bacia a partir do ano de 2002.

A Tabela 20 apresenta os valores dos efetivos animais para os estados do Ceará e Piauí referentes ao período 1996-2002, enquanto que a Tabela 21 apresenta as respectivas equações exponenciais de ajuste para cada tipo de efetivo animal. Com base nos resultados da Tabela 20 nota-se uma tendência de crescimento apenas para as classes de aves, asininos e ovinos, enquanto que para os demais tipos nota-se um ligeiro decréscimo das séries anuais.

Tabela 20 – Efetivos animais dos estados do Ceará e Piauí (totalizados) no período 1996-2002. Fonte: Produção Pecuária Municipal – IBGE.

TIPO DE REBANHO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Bovinos	4.130.052	4.147.953	3.865.015	3.923.793	3.985.410	3.986.306	4.034.636
Suínos	2.505.098	2.496.942	2.397.101	2.407.372	2.421.716	2.430.869	2.427.698
Eqüinos	288.375	291.974	283.045	284.105	284.236	286.046	287.448
Asininos	394.534	395.725	391.971	397.828	401.665	402.721	404.824
Muare	117.496	116.700	114.740	114.706	114.637	115.086	115.677
Bubalinos	1.466	1.626	1.615	1.579	1.795	1.543	1.389
Caprinos	2.361.077	2.332.504	2.242.927	2.258.012	2.259.888	2.270.188	2.281.920
Ovinos	2.958.686	2.993.790	2.835.388	2.923.982	3.002.874	3.089.046	3.156.902
Aves	30.067.955	29.932.813	29.632.730	30.468.440	30.055.463	30.204.138	31.039.254

Tabela 21 – Equações exponenciais de ajuste para cada tipo de efetivo animal

TIPO DE REBANHO	EQUAÇÃO
Bovinos	$y = 2E+10 e^{-0,004258x}$
Suínos	$y = 4E+10 e^{-0,004855x}$
Bubalinos	$y = 2E+08 e^{-0,00588x}$
Eqüinos	$y = 8E+06 e^{-0,001666x}$
Asininos	$y = 22,976 e^{0,004883x}$
Muare	$y = 3E+07 e^{-0,00278x}$
Ovinos	$y = 0,0005 e^{0,01126x}$
Caprinos	$y = 9E+10 e^{-0,005295x}$
Aves	$y = 3341,7 e^{0,004557x}$