

PROJETO ÁRIDAS

Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste



GT II - RECURSOS HÍDRICOS

II . 3 - VULNERABILIDADE DO SEMI-ÁRIDO ÀS SECAS, SOB O PONTO DE VISTA DOS RECURSOS HÍDRICOS

José Nilson Beserra Campos

Coordenação Geral:
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO,
ORÇAMENTO E COODENAÇÃO
DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

711. 2: 63 : 504 (213 : 505)

CAMPO JN ARIDA

V.2N.3



Ministério da
Integração Nacional



PROJETO ÁRIDAS



Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste



GT II - RECURSOS HÍDRICOS

**VULNERABILIDADE DO SEMI-ÁRIDO
ÀS SECAS, SOB O PONTO DE VISTA
DOS RECURSOS HÍDRICOS**

José Nilson Beserra Campos

Setembro / 94

Versão Preliminar, sujeita à revisão.
Circulação Restrita aos participantes
do Projeto ARIDAS



PROJETO ÁRIDAS



Um esforço colaborativo dos Governos Federal, Estaduais e de Entidades Não-Governamentais, comprometidos com os objetivos do desenvolvimento sustentável no Nordeste.

O ARIDAS conta com o apoio financeiro de Entidades Federais e dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Bahia, particularmente através de recursos do segmento de Estudos do Programa de Apoio ao Governo Federal.

A execução do ARIDAS se dá no contexto da cooperação técnica e institucional entre o Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura-IICA e os Estados, no âmbito do PAPP.

ORGANIZAÇÃO

Coordenação Geral: **Antônio Rocha Magalhães**
Coordenador Técnico: **Ricardo R. Lima**

GTI - RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE

Coordenador: **Vicente P. P. B. Vieira**

GT - II - RECURSOS HÍDRICOS

Coordenador: **Vicente P. P. B. Vieira**

GT III - DESENVOLVIMENTO HUMANO E SOCIAL

Coordenador: **Amenair Moreira Silva**

GT IV - ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO REGIONAL E AGRICULTURA DE SEQUEIRO

Coordenador: **Charles Curt Meller**

GT V - ECONOMIA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Coordenador: **Antônio Nilson Craveiro Holanda**

GT VI - POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO E MODELO DE GESTÃO

Coordenador: **Sérgio Cavalcante Buarque**

GT VII - INTEGRAÇÃO COM A SOCIEDADE

Coordenador: **Eduardo Bezerra Neto**

Cooperação Técnica-Institucional IICA: **Carlos L. Miranda** (Coordenador)

COORDENAÇÃO GERAL:

Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação
da Presidência da República
Seplan-PR - Esplanada dos Ministérios - Bloco K - sala 849
Telefones: (061) 215-4132 e 215-4112
Fax: (061) 225-4032



PROJETO ÁRIDAS



COLEGIADO DIRETOR

Presidente: Secretário-Executivo da Seplan-PR

Secretário: Coordenador Geral do ARIDAS

Membros:

Secretários-Executivos dos Ministérios do Meio ambiente e Amazônia Legal, da Educação e Desportos e da Saúde;

Secretário de planejamento e Avaliação da Seplan-PR;

Secretário de Planejamento do Ministério da Ciência e Tecnologia;

Secretário de Irrigação do Ministério da Integração Regional;

Superintendente da Sudene;

Presidente do Banco do Nordeste do Brasil;

Presidente da Embrapa;

Presidente do IBGE;

presidente do Ibama;

Presidente da Codefasv;

Diretor Geral dos Dnocs;

Presidente do Ipea;

Representante da Fundação Esquel Brasil (Organização Não Governamental)

CONSELHO REGIONAL

Membros:

Secretários de Planejamento dos Estados participantes do ARIDAS;

Suplentes: Coordenadores das Unidades Técnicas do PAPP;

Coordenador geral do Aridas;

Representante da Seplan-PR;

Representante da Sudene;

Representante do BNB;

Representante do Ipea;

Representante da Embrapa;

Representante do Codevasf;

Representante da Secretaria de Irrigação do Ministério da Integração Regional;

COMITÊ TÉCNICO

Presidente: Coordenador Geral do aridas;

Membros:

Coordenadores de GT Regionais;

Coordenadores Estaduais;

Representante da Seplan-PR;

Representante da Sudene;

Representante da Embrapa;

Representante do IBGE;

Representante do Codevasf;

Representante da Secretaria de Irrigação/MIR;

Representante do DNAEE;

Representante do Dnocs;

Representante do IICA





SUSTENTABILIDADE DO DESENVOLVIMENTO DO SEMI-ÁRIDO SOB O POSTO DE VISTA DOS RECURSOS HÍDRICOS:

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Semi-Árido tem sido caracterizado, desde o início de sua história, pelo estigma da seca. A primeira marca, que antecede à ocupação da região das caatingas pelos colonizadores portugueses, conforme Souza (1979) é relatada por Fernão Cardin o qual referindo-se ao ano de 1583 informa:

"houve uma grande seca e esterilidade na província (Pernambuco) e desceram do sertão, socorrendo-se aos brancos cerca de quatro ou cinco mil índios."

Igualmente, Paulino (1992) analisando o problema das secas, apresenta a seguinte citação do professor João de Deus de Oliveira:

"os primeiros colonizadores lusos testemunharam, por certo, a luta tremenda, dentro das selvas, dos Tabajaras, dos Kariris, indígenas sertanejos, estes últimos acossados pelos efeitos das secas, famintos errantes, em contínuos entrechoques de raças do Jaguaribe, do Apodi, e do Acçu, ao Norte, às ribeiras do São Francisco ao Sul e Leste".

Demonstram essas narrativas que mesmo em condições de baixa densidade demográfica, em áreas sem degradações antrópicas, na ausência de uma infra-estrutura de reservação de águas, a seca, desde quando se conhece o Nordeste, têm resultado em movimentos migratórios.

As condições adversas do Nordeste, incluindo as secas periódicas, retardaram muito o início da ocupação portuguesa da Região. Até a primeira metade do século XVII o domínio das áreas secas do interior do Nordeste de Pernambuco ao Ceará era dos índios. A partir de então e de forma bastante lenta tem início o processo de ocupação com o

"desenvolvimento da pecuária, única atividade possível na região das caatingas." (Paulino, 1992).

1.1 Um breve histórico das secas

Séculos XVI e XVII -- Poucas secas foram referenciadas nos séculos XVI e XVII. Entre essas, Joaquim Alves comenta a ocorrência de secas em

¹ Os dados desse item são baseados na publicação do MINTER/SUDENE: As SECAS DO NORDESTE (uma abordagem de causas e efeitos)





1603, 1606, 1645, 1652 e 1692, totalizando 5 episódios. Deve-se ressaltar todavia que havia nesses dois séculos grande deficiência de documentação esperando-se, em conseqüência, que tenha ocorrido outras secas não registradas.

Século XVIII --No século XVIII com a ocupação mais intensa do sertão, principalmente com a atividade pecuária, cresceram a população e os rebanhos no interior. Vários episódios de secas, com graves conseqüências sociais foram registrados, entre esses: 1707; 1710-1711; 1721-1727; 1730; 1736-1737; 1744-1747; 1751; 1754; 1760; 1766; 1771-1772; 1777-1778; 1783-1784 e 1791-1793 em um total de 29 episódios.

Reportando-se sobre a seca de 1721-1727 afirma Tomaz Pompeu de Souza Brasil:

"1721- as províncias do Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Rio de Janeiro(SIC) foram assolados pela fome. Secaram as fontes, estagnaram as águas, esterilizando as lavouras e matando os gados. 1722 foi o ano de grande seca, em que só não morreram as tribos indígenas, como o gado e até as feras que se encontravam mortas por toda a parte."

SÉCULO XIX --- O século XIX reportam-se secas em 1804; 1808-1809; 1814; 1824-1825; 1829; 1830; 1833; 1844-1845; 1870; 1877-1878; 1879; 1888-1889; 1898 totalizando 18 episódios.

De 1845 a 1877 decorreram 32 anos relativamente sem grandes problemas (excetuado 1870 com alguma escassez). No período desenvolveram-se a população e os rebanhos sem que houvesse melhoria da infraestrutura. Aconteceu então uma das secas de conseqüências mais graves da História do Nordeste: a seca de 1877-1878. Segundo o relato da SUDENE, essa seca

" Deixou um saldo de mais de 500.000 mortos entre habitantes do Ceará e das vizinhanças. Só em Fortaleza pereceram 119.000 pessoas. Cerca de 50% da população morreu. Dos mortos de 1877 a 1879, calcula-se que 150.000 faleceram de inanição e 100.000 de febres e outras doenças, 80.000 de varíola e 180.000 de fome, alimentação venenosa e sede."

SÉCULO XX --- O século XX iniciou com uma seca abrangendo todo o Nordeste. Foram ainda registradas secas em 1903; 1915; 1919; 1932; 1942; 1951-1953; 1958; 1966; 1970; 1976; 1979-1983 e 1990-1993 totalizando, até a atual data 21 períodos. Contudo esse século caracterizou-se por instalação de política de formação de um infra-estrutura hídrica de estradas, energia e a criação de instituições regionais para enfrentar o problema.

Nesse século, vale ressaltar a abrangência espacial da seca de 1932. Conforme trabalho da SUDENE:

"Em 1932, o ano começou com poucas chuvas em Janeiro. A seca havia se generalizado abrangendo uma área até hoje não superada: parte do Maranhão e o Piauí até a Bahia, ao sul do rio Itapicuru foram atingidos, numa extensão de 650.000 km², onde habitava uma população de 3.000.000 de pessoas."

Contudo, há de se considerar que se a infra-estrutura existente é impotente para acabar em definitivo com as secas no Nordeste ela tem sido suficiente para que não se repitam catástrofes como a da seca de 1877-1878. Se o Nordeste ainda é vulnerável às secas ele já não é tão vulnerável quanto o era no século passado.

As secas acima referidas englobam as parciais, atingindo somente parte do Nordeste e as totais que atingem quase toda a região. A SUDENE (op. cit.) considera como secas totais as ocorridas em 1710, 1721, 1736, 1777/78, 1825, 1845, 1877/79, 1888/89, 1898, 1900, 1915, 1932, 1951 e 1970, totalizando 18 episódios em 280 anos.

O conhecimento da distribuição espacial das secas é também muito importante para a definição de uma política de convivência ou mitigação desse fenômeno. É de se esperar que, dentro do Polígono das Secas, haja regiões atingidas com mais frequência que outras. Poucos estudos com abrangência da Região têm sido feito a esse respeito. A SUDENE preparou uma carta que define as isolinhas de frequência de ocorrência de secas (Figura 1- Anexo A).

O mapa deixa claro que na região compreendendo o Ceará, o Rio Grande do Norte e Paraíba, consiste na parte mais vulnerável à ocorrência das secas. Essa situação pode ser entendida se forem superpostos os dois principais sistemas de formação de chuvas na região: as frentes frias que atingem o sul da Bahia apresentam uma ligeira inclinação sudeste-noroeste); a zona de convergência intertropical que apresenta uma inclinação nordeste-sudoeste. A existência de uma zona litorânea, no Rio Grande do Norte, com baixa pluviosidade, reforçam essa assertiva.

Fazendo uma análise da ocorrência de secas, excluindo-se, por insuficiência de informações, os séculos XVI e XVII, observa-se que no total de 294 anos ocorreram 71 episódios de secas, entre secas totais e secas parciais. Isso significa que pelo menos uma área do Nordeste é atingida por uma seca a cada 4,14 anos. Significa ainda que na parte menos vulnerável da região mais vulnerável- isolinha 81-100% do mapa de incidência de secas- acontece uma seca a cada 5,17 anos. Quanto à de secas com abrangência em todo o Nordeste a periodicidade é de uma em cada 16 anos.





Tabela 1.1 - QUADRO CRONOLÓGICO DAS SECAS

DECADAS	SÉCULO XVI	SÉCULO XVII	SÉCULO XVIII	SÉCULO XX	SÉCULO XX
00		1603		1804	1900
		1608	1707	1808;1809	1903
10		1614	1710/1711	1814	1915 1919
20			1721/1722 1723;1724 1725/1726 1727	1824/1825 1829	
30			1730 1736/1737	1844/1845	1942
40		1645	1744/1745 1746/1747		
50		1652	1751 1754		1951/1952 1953 1958
60			1760 1766		1962 1966
70			1771/1772 1777/1778	1870 1877/1878 1879	1970 1976 1979
80	1583 1587		1783/1784	1888/1889	1980/1981 1982/1993
TOTAL	2	6	30	16	22
FREQUEN. (%)	2	6	30	16	23

Fonte: MINTE/SUDENE, 1981. AS SECAS DO NORDESTE
UMA ABORDAGEM DE CAUSAS E EFEITOS

1 - Embora o ano de 1962 não conste na tabela original da SUDENE, o texto se refere a ocorrência de seca em Sergipe e na Bahia (p.41)

2 - as secas após 1981 não constavam na publicação original

3 - a frequência no século XX refere ao período 1900/1994

1.2 Aspectos físicos do Semi-Árido: resumo

As secas são decorrentes da interação entre o meio físico e as estruturas sócio-econômicas nele instaladas. A definição de alguns elementos de caracterização física é de muita importância para o entendimento do problema. Uma breve caracterização física do Nordeste, com base nos dados do MINTER 1973, é apresentada a seguir:

Regime pluvial

. Chuvas concentradas em uma estação de 3 a 5 meses de duração. Na parte norte da Região predominam as chuvas do sistema da zona de convergência intertropical (ZCIT); na parte sul atuam os sistemas frontais que alcançam até a Bahia;

. Coeficiente de variação dos totais pluviométricos anuais em torno de 30%. Esse coeficiente chega a atingir cerca de 50% em regiões de menores pluviosidade. (cotovelo do São Francisco).

. A pluviosidade anual, medida pelas normais climatológicas referentes ao período 1931-1960, supera, em poucas áreas, uma altura acima de 2000 mm², representadas por Turiaçu no Maranhão (2.177,7 mm²), Goiana em Pernambuco (2.250,7 mm) e Ilhéus na Bahia (2.082,9mm). Em uma faixa de pluviosidade entre 1500-2000mm encontram-se parte do Maranhão, como Carolina (1.536,7mm) e Imperatriz (1.629,8 mm) no vale do Tocantins, São Luiz (1.952,8mm) no litoral; regiões serranas como Guaramiranga no Ceará (1.691,0); litoral sul desde Natal no Rio Grande do Norte(1.546,6mm), João Pessoa na Paraíba (1.668,2mm), Recife em Pernambuco(1.763,0 mm) , Salvador na Bahia com 1.832,5mm). Na faixa 1000-1400mm/ano encontram-se o vale do Tocantins e parte do litoral maranhense. As estações com pluviosidade inferior a 1000mm encontram-se nos climas sub-úmidos e semi-áridos. A parte mais seca do Nordeste, no sentido de pluviosidade, situa-se no chamado cotovelo do São Francisco. O posto de Remanso, localizado nesta área, tem uma pluviosidade de 496,7mm/ano.

Clima

- Temperaturas médias anuais elevadas (23 a 27EC) variando pouco de uma região para outra, com amplitudes térmicas diárias em torno de 10EC, mensal de 5 a 10EC e anual de 5E a 2EC.
- Média anual de insolação de 2800h/ano.
- Umidade relativa com médias anuais em torno de 70-80% no litoral, nas serras e no Maranhão, decrescendo do litoral para o interior onde atinge valores de 50 a 60%.
- Evaporação com média anual variando de 1.000mm/ano no litoral da Bahia a Recife; atingindo a 2000mm/ano em boa parte do Sertão chegando a 3000mm na área de Petrolina em Pernambuco.

Hidrogeologia

- Terrenos do embasamento cristalino, praticamente impermeáveis, ocupando cerca de 50% do Polígono, com capacidade de acumulação de águas restrita às zonas fraturadas.





- Terrenos sedimentares bastante dissecados pela erosão com capacidade de armazenamento de águas subterrâneas.

Hidrologia

- Rios de regime intermitente devido às irregularidades do regime pluviométrico e das demais condições fisiográficas; no Polígono apenas os rios Parnaíba e São Francisco apresentam volume significativo perenizado sem reservatórios barragens.

2. SECAS: DEFINIÇÕES E EFEITOS

O conceito de seca está intimamente relacionado ao ponto de vista do observador. Embora a causa primária das secas resida na insuficiência ou irregularidade das precipitações pluviométricas, existe uma seqüência de causas e efeitos na qual o efeito mais próximo de uma seca torna-se causa de um outro efeito e esse efeito passa a ser denominado também de seca. Assim, para citar as mais comuns, pode-se definir as secas climatológica (causa primária ou elemento que desencadeia o processo), edáfica (efeito da seca climatológica) "seca" (social?), (efeito da seca edáfica), a seca hidrológica ou nas disponibilidades de água (efeito dos baixos escoamentos nos cursos d'água e/ou do sobreuso das disponibilidades), etc...

A seca climatológica refere-se à ocorrência, em um dado espaço e tempo, de uma deficiência no total de chuvas em relação aos padrões normais que determinam as necessidades. Esse tipo de seca tem causas naturais da circulação global da atmosfera e pode resultar em redução na produção agrícola e no fornecimento de água para cidades e outros usos.

A seca edáfica tem como causas básicas a insuficiência ou distribuição irregular das chuvas e pode ser identificada como uma deficiência da umidade, em termos do sistema radicular das plantas, que resulta em considerável redução da produção agrícola. Esse tipo de seca, associado à agricultura de sequeiro, é a que maiores impactos causa no Nordeste Semi-Árido. Os efeitos são severas perdas econômicas e grandes transtornos sociais como: fome, migração, desagregação das famílias, etc..

Por sua vez, a seca hidrológica, ou de suprimento de águas, pode ser entendida como a insuficiência de águas nos rios ou reservatórios para atendimento das demandas de águas já estabelecidas em uma dada região. Essa seca pode ser causada por uma seqüência de anos com deficiência no esco-

² Essa situação resultou na construção, em regime de emergência, de um canal com cerca de 100 quilômetros, ligando as águas do Jaguaribe, regularizadas pelo sistema Orós; Banabuiu; Pedras Brancas.

amento superficial ou, também, por um mal gerenciamento dos recursos hídricos acumulados nos açudes. O resultado desse tipo de seca é o racionamento, ou colapso, em sistemas de abastecimento de água das cidades ou das áreas de irrigação.

A qualidade das estações chuvosas de 1991 a 1994 no Nordeste pode ser tomado como exemplos para os diversos tipos de seca. Em 1991 ocorreu, em grande parte do território do Nordeste Semi-Árido, pluviosidade bem abaixo da média. A Região foi atingida por secas climatológicas e edáficas; contudo as reservas em água, acumuladas nos grandes reservatório foram suficientes para atender as demandas durante o ano de 1991. Em 1992, com a repetição da seca climatológica, começaram os primeiros problemas de seca hidrológica. Recife foi a primeira grande cidade atingida tendo sido submetida a um racionamento no abastecimento de água. Em 1993, a grande maioria dos pequenos açudes do Semi Árido secaram. Os grandes açudes atingiram níveis críticos. Em maio de 1993, a cidade de Fortaleza, com seus 1,5 milhão de habitantes, chegou à três meses de um colapso no sistema de abastecimento de águas.

A estação de chuvosa no ano de 1994 foi, de todo, peculiar. No geral, as precipitações pluviais foram acima da média. O litoral Nordestino foi privilegiado por estação chuvosa bastante prolongada. No Sertão Cearense, especialmente no Alto Jaguaribe, as chuvas ocorreram em quantidade suficiente para a produção agrícola. Não ocorreu seca climatológica ou edáfica. Contudo, como essas chuvas ocorreram, predominantemente, com baixa intensidade e distribuídas em um longo intervalo de tempo, o escoamento superficial resultante foi muito baixo. Esse fato, aliado à situação crítica em que se encontravam os reservatórios resultaram em um ano de baixa disponibilidade de águas.

Como exemplo, o Orós terminou a estação chuvosa com um volume acumulado de cerca de 500 milhões de metros cúbicos. Essa reserva é insuficiente para atender a demanda existente às margens do rio Jaguaribe. O quadro atual é de racionamento. O perímetro irrigado do Icó que recebe águas do Orós estava até o final de setembro. Motivado por esse fato, um grupo de irrigantes do Icó se deslocou até o açude Orós e fechou a válvula dispersora que alimenta os irrigantes das ribeiras do Jaguaribe. Esse é um conflito gerado pela atual seca hidrológica daquele vale. Uma grande diferença entre essa seca e a seca agrícola reside nas condições sócio-econômicas das populações atingidas: os camponeses da agricultura de sequeiro não dispõem de reservas financeiras que lhes permitam sobreviver durante a ocorrência da seca.

Em resumo, os efeitos mais graves das secas decorrem de um descompasso momentâneo entre a oferta de água, provida irregularmente pela natureza, e as necessidades para uma determinada atividade geradas pela sociedade. R. BARNASH e R. FERRAL(1973) analisam que



"a seca não deve ser considerada como uma condição seca, mas uma condição de secura anormal em relação às necessidades. Em qualquer área, a natureza geralmente produz uma vegetação em harmonia com o ciclo de umidade disponível para o crescimento da planta. O homem freqüentemente viola essa harmonia introduzindo culturas de pouca adaptação e a crença de seca é aumentada como mau uso da terra."

2.1 Os potenciais hidráulicos localizado e móvel

Considerando-se uma região hidrográfica como um sistema que é alimentado pelas precipitação pluviais Em termos médios, o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica pode ser representado por

$$P = (E_s + E_T) + (R + I_p) \quad (1)$$

onde **P** representa a precipitação pluvial média na bacia;

Es, a evaporação a partir da superfície do solo, das superfícies dos vegetais e dos planos de águas livres;

It a infiltração total na superfície do solo;

Et representa a parte de da infiltração que fica retida nas camadas superficiais do solo e é evapotranspirada;

Ip representa a parte percolação profunda que alimenta o lençol freático;

e **R** representa o escoamento superficial que forma os riachos e rios.

O conjunto (**Es + Et**), denominado potencial hidráulico localizado, só pode ser utilizado no local onde acontece a precipitação. Por outro lado, o conjunto (**R + Ip**), denominado potencial hidráulico móvel, representa a parte das águas que se movimenta e pode ser utilizada em local diversos daquele onde aconteceu a chuva.

O conhecimento de como ocorrem as chuvas, de como elas se distribuem entre o potencial localizado e potencial móvel, são de grande importância ao entendimento da seca e vulnerabilidade de uma dada região a esse fenômeno. Dessa forma a seca edáfica dá-se no domínio do potencial hidráulico localizado enquanto a seca hidrológica dá-se no domínio do potencial hidráulico móvel.

2.2 Seca no potencial hidráulico localizado: seca edáfica

O potencial hidráulico localizado, como definido, consiste na parte da precipitação pluvial que fica retida contra a ação da gravidade, nas camadas superficiais do solo, a nível do sistema radicular das culturas, sob a forma de



umidade. Esse potencial só pode ser utilizado através do processo de sucção das raízes vencendo as forças que mantêm as águas nos vazios do solo.

Analisando-se a evolução do teor de umidade no solo ao longo de uma estação de chuvas, nota-se que existem períodos em que o mesmo mantém um teor de umidade acima do ponto de murchamento, alternando com períodos onde a umidade fica igual ou abaixo desse teor de umidade. Dessa maneira para gerenciar o potencial hidráulico localizado é importante que se conheça, pelo menos no sentido estatístico, datas de início e durações dos períodos úmidos. O conhecimento desses períodos irá proporcionar elementos para melhor selecionar culturas e datas de plantio que a elas se adaptem. Quanto mais eficiente for o gerenciamento, menores serão os efeitos negativos dos períodos deficitários ou secas.

Considera-se que ocorreu uma seca edáfica, em um determinado ano, para um cultivo de uma certa duração do ciclo vegetativo (DCV), quando o espaço de tempo em que o solo mantém continuamente água à disposição das culturas é inferior a DCV. A frequência de ocorrência de secas pode ser estimada pelo conceito de Ciclo Máximo Anual Contínuo de Umidade - CMACU (Campos, 1983; Campos e Lima 1992). O CMACU representa o número máximo de dias, em um dado ano, no qual o solo mantém, a nível do sistema radicular das culturas, o teor de umidade acima do ponto de murcha permanente. O CMACU é uma variável aleatória que pode ser estimada através do balanço hídrico do solo, em locais onde se disponha de séries de chuvas diárias de durações suficientemente longas.

2.2.1 Determinação do Ciclo Máximo Anual Contínuo de Umidade (CMACU) Executando-se, em um dado ano hidrológico, o balanço diário de umidade no solo, obtém-se uma série de períodos contínuos de dias onde o solo se mantém úmido alternado por períodos de solo seco. Define-se Ciclo Máximo Anual Contínuo de Umidade como a duração em dias do maior período do ano em que o solo mantém, continuamente, umidade disponível para as culturas. O CMACU pode ser pensado como um indicador do período mais apropriado para o cultivo de culturas de inverno.

2.2.2 Conceito de Inverno\Seca Agrícola Diz-se que em um dado ano ocorreu uma seca agrícola para uma cultura de duração do ciclo vegetativo DCV em um solo de capacidade de retenção S se, naquele ano, a duração do Ciclo Máximo de Umidade for inferior ao ciclo vegetativo da cultura considerada; caso contrário diz-se que ocorreu um "inverno." Isto é:

INVERNO $6 \text{ CMACU} \geq \text{DCV}$
SECA $6 \text{ CMACU} < \text{DCV}$.

2.2.3 Probabilidade de Ocorrência de Seca Dispondo-se, em um determinado local, de uma série histórica de precipitações diárias de n anos, pode-



se, através do balanço hídrico, obter n valores correspondentes ao CMACU. Passa-se assim a dispor de amostra da população. Ajustando-se em seguida essa amostra a uma dada função de probabilidade é possível calcular a probabilidade de ocorrência de uma seca para uma cultura de ciclo vegetativo de duração DCV através da fórmula:

$$\Pr\{SECA\} = \Pr\{CMACU < DCV\}$$

Por sua vez, o período de retorno de secas é igual a:

$$Tr\{SECA\} = 1/\Pr\{CMACU < DCV\}$$

Obviamente o modelo descrito não representa em toda sua complexidade a dinâmica solo x água x planta o que aliás não é o objetivo. Entretanto, o CMACU pode ser pensado como uma variável indicativa da aptidão de um dado local para produção de culturas de inverno.

No momento, o estudo de determinação de freqüência de secas a partir dessa definição está restrito ao estado do Ceará. As Figuras 2 e 3 (Anexo A) mostram as isolinhas dos valores médios dos CMACU para solos com capacidade de retenção igual a 80mm e 120mm respectivamente. Observe-se, que na parte sudoeste do Estado, em áreas com solo de 80mm o ciclo médio de umidade no solo está em torno de 80-90 dias. Significa que plantar culturas com ciclo vegetativo de duração superior a 90 dias, nesse tipo de solo, o risco de seca é muito elevado.

2.3 A ocorrência de secas no potencial hidráulico móvel

Os rios, segundo os seus regimes de escoamento podem ser classificados em perenes, intermitentes e efêmeros. Os perenes são aqueles que apresentam escoamento durante o ano todo, todos os anos; os intermitentes são os que escoam durante uma parte do ano em que ocorrem as chuvas; os efêmeros são aqueles de pequeno porte nos quais o escoamento só acontece imediatamente após as chuvas.

Nos rios perenes as secas ocorrem e são estudadas a partir do regime de vazões mínimas. Estuda-se nesses rios seqüências de vazões mínimas decendiais, semanais ou de outro número de dias. A demanda nesses rios estabelece-se em função desse regime de vazões mínimas. Os reservatórios superficiais são introduzidos como forma de elevar essas vazões mínimas.

Nos rios intermitentes, em condições naturais, pouca demanda pode ser estabelecida. As águas remanescentes da estação úmida para a estação seca resumem-se àquelas armazenadas nos pacotes aluviais. Nas regiões com substrato cristalino, onde as disponibilidades hídricas ficam restritas às reservas acumuladas nos pacotes aluviais, somente a construção de reserva-

tórios superficiais pluri-anuais permitem o atendimento de significativas. Nessas regiões, a seca passa a ser uma decorrência de um sobreuso ou mau uso dos açudes ou de seqüências de anos secos não previstas quando do estabelecimento das regras de operação dos reservatórios.

Os rios efêmeros, por sua pequena importância, não permitem em suas margens que se estabeleçam demandas significativas. A ocupação dessas áreas com atividades consumidoras de água só é justificável, no sentido econômico, caso haja um potencial que viabilize a importação de água de bacias vizinhas. Nessas regiões, a seca passa a ser uma condição crônica (anual) ou como decorrência de secas na região exportadora de água. O fornecimento de água através de caminhões pipas, so conduzido com lisura, pode ser o meio mais econômico de efetivá-lo.

Trabalho recentes mostram que, em muitos casos, a construção de pequenos açudes a montante de um grande açude pode resultar um decréscimo na capacidade do sistema de fornecer água. Ampliar o conhecimento sobre esses aspectos se faz muito importante.

3. VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS HÍDRICOS

Sucedendo ao relatório Nosso Futuro Comum(Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987) muitas pesquisas e metodologias foram elaboradas com vistas à busca de um desenvolvimento para a humanidade que não implicasse na prática do sobreuso da capacidade de depuração da natureza. Esse tipo de desenvolvimento, cuja definição varia segunda a ótica dos diferentes atores sociais, tem sido denominado de Desenvolvimento Sustentável. A "paternidade" do conceito ainda é objeto de disputa entre segmentos da sociedade como os ecologistas e os desenvolvimentista(o lado "soft"). O conceito está em contraposição, ou em atenuação, ao atual modelo de desenvolvimento que consiste, em grandes linhas, em concentração da população em centros urbanos e utilização despreocupada dos recursos naturais.

Os aglomerados urbanos e as atividades industriais se, por um lado, representam a possibilidade de aumentar, a um menor custo financeiro, o conforto de parte da população do planeta, por outro lado, pode pagar o preço de concentrar a poluição em um quantidade acima da capacidade de depuração da natureza. Entretanto, qualquer que seja o tipo de desenvolvimento, a oferta de águas, na quantidade requerida e na qualidade desejável, é de fundamental importância para a sobrevivência dos aglomerados humanos. A sensibilidade da sociedade a essa questão faz com que uma grande parte dos esforços despendidos em pesquisas sejam direcionados à questão do gerenciamento das águas. Uma ênfase especial tem sido dada à questão das secas. Várias regiões do mundo, especialmente as regiões de climas semi-áridos, têm se mostrado muito sensíveis a esse fenômeno.





3.1 Conceituação de vulnerabilidade

No sentido vernacular, vulnerável é o designativo do lado fraco de um assunto, questão ou sistema ou ainda do ponto onde uma pessoa ou sistema podem ser atacados e feridos ou danificados. Essa conceituação tem sido utilizada no que se refere aos sistemas de fornecimento de água de uma região.

Ao se edificar uma cidade cria-se a necessidade concentrada de um fornecimento água de boa qualidade. Essa cidade, ao crescer, pode, rapidamente, esgotar as disponibilidades hídricas das área circunvizinhas. Por sua vez, a concentração de atividades poluentes degradam a qualidade dos lençóis subterrâneos. Como resultado desse processo, torna-se praticamente inviável a solução individual. A construção de um sistema confiável de abastecimento de água de boa qualidade e de um sistema de esgotamento sanitário tornam-se indispensáveis à manutenção de uma cidade saudável. Um raciocínio semelhante pode ser feito com relação a empreendimentos agrícolas no meio rural.

Nas grandes cidades, a dependência de suas populações ao fornecimento de água torna-se tão intensa que o colapso do sistema pode se ocasionar um verdadeiro caos. Dessa forma, no desenvolvimento de projetos de sistemas hídricos é de toda conveniência que esses sistemas sejam analisados quanto à vulnerabilidade.

3.2 Características desejáveis dos sistemas hídricos

Todo projeto é feito para o futuro. Porém o futuro, dentro de certos limites, é imprevisível. Os sistemas hídricos são acentuadamente sujeitos a esse tipo de imprevisibilidade. O processo do projetar obras hidráulicas inicia por observar os eventos do passado e com base nessas observações estabelecer as faixas de previsibilidade, de imprevisibilidade e o grau de vulnerabilidade dessas obras. O bom projeto deve ser aquele não muito caro, portanto ao alcance da sociedade, e pouco vulnerável a falhas, portanto não desconfortável para a sociedade.

Do ponto de vista físico, Matalas e Fiering(1977) apontam a "resiliência" e robustez como características desejáveis aos projetos de sistemas hídricos. Definem eles como sistemas resilientes aqueles cujo desempenho, em uma determinada faixa de condições, é tal que o valor presente de custo de falha é presumivelmente inferior ao custo de evitar a falha modificando o projeto original. Por sua vez, sistemas robustos são aqueles poucos sensíveis a erros, aleatórios ou não.

A preocupação em introduzir a resiliência e a robustez em projetos de sistemas hídricos não tem sido uma constante no Nordeste ou no Brasil em seu todo. Há de ser ter em mente, todavia, que a variabilidade dos afluxos aos sistemas hídricos influi significativamente na busca de um projeto ideal

(resiliente e robusto). As regiões semi-áridas, no geral, apresentam uma variabilidade hidrológica bem maior que as regiões úmidas ou sub úmidas, e por conseqüência torna-se mais difícil idealizar um projeto resiliente.

No Semi-Árido Nordeste, uma grande parte do sistema de obras hídricas foi projetado e construído em uma base de informações não compatíveis com a variabilidade hidrológica da Região e antecedem ao próprio desenvolvimento teórico desses conceitos. Não há de se esperar, em conseqüência, que os sistemas existentes sejam resilientes ou robustos. Contudo, a maneira de operar esses sistemas, a organização da oferta, a disciplina do consumo podem influenciar diretamente na vulnerabilidade da obra existente o projeto. Daí a importância de bem entender estudar esses conceitos.

3.3 Classificação da vulnerabilidade dos sistemas

Gleick (op.cit.) classifica a vulnerabilidade dos sistemas hídricos em três categorias: as vulnerabilidades meteorológicas e climatológicas; e as vulnerabilidades sociais e geográficas; as vulnerabilidades hidrológicas e de projeto.

As vulnerabilidades meteorológicas e climatológicas englobam, principalmente, a magnitude e duração das cheias- relacionadas aos extravasores das barragens e sistemas de drenagem; e as freqüências, durações e intensidades das secas- relacionadas aos colapsos no fornecimento de águas pelos sistemas hídricos.

Como exemplo, durante o período 1989-1993, ocorreu uma sucessão de anos secos que resultaram em severos racionamentos, ou colapsos em alguns casos, de sistemas de abastecimento de cidades de pequeno e médio porte. Fortaleza e Recife são exemplos de grandes cidades que sofreram prolongados racionamentos. Em todo o Semi-Árido, as cidades e distritos abastecidas a partir das águas superficiais de pequenos e, em alguns casos, médios reservatórios sofreram colapsos em seus sistemas de abastecimento. A alternativa foi o abastecimento a partir de caminhões pipas.

Na Região, grosso modo, só ficaram imunes a esse mal apenas as cidades abastecidas com águas do São Francisco ou aquelas abastecidas por águas subterrâneas de aquíferos sedimentares (excluídas, nesses casos, os aquíferos aluviais sobre substrato cristalino). O período explicitou a vulnerabilidade de diversos sistemas de águas superficiais no Semi-Árido.

3.4 Indicadores da vulnerabilidade dos sistemas hidrológicos

Adotou-se no presente trabalho cinco estimadores da vulnerabilidade dos sistemas hídricos regionais, a saber: insuficiente capacidade de acumulação; demanda crescente por água; sobre-exploração das reservas subterrâneas; alta variabilidade interanual dos deflúvios e intermitência dos cursos d'água. A justificativa desses indicadores e o que eles representam está descrita a seguir.



3.4.1 Relação entre a capacidade de acumulação e o suprimento renovável: S/Q

A razão entre a capacidade de acumulação total de água nos reservatórios de uma dada área e a o volume médio anual escoado superficialmente nessa bacia é um indicador da capacidade da área resistir a secas hidrológicas prolongadas. Com uma grande capacidade de acumulação é possível em uma dada região atravessar um período deficitário nos deflúvios. Devido às peculiaridades do Semi-Árido, rios intermitentes com uma estação seca de duração superior a seis meses e altas taxas de evaporação, os pequenos açudes cuja profundidade média seja da ordem de grandeza da lâmina anual evaporada(2,40m), são incapazes de prover uma regularização uma interanual, pouco contribuem para a capacidade diminuir a vulnerabilidade às secas mais prolongadas.

No Nordeste, por razões históricas, têm-se admitido que uma relação S/Q em torno de 2,0 é de bom tamanho. Contudo, estudos recentes mostram que esse número não é absoluto. É possível que uma relação superior a 2,0 seja recomendável para muitas regiões. Contudo uma relação menor que 1,0 indica um baixo uso do potencial de acumulação. A Tabela 1.1 mostra alguns valores desse estimador de vulnerabilidade.

3.4.2 Relação entre o uso consuntivo e os recursos hídricos renováveis D/Q:

Em regiões onde o uso consuntivo é alto em relação ao total escoado superficialmente estão, obviamente, suscetíveis a crises acentuadas. Uma questão de particular importância é a determinação do índice a partir do qual essa razão torna-se crítica. Szestay(1970), citado por Gleick(op.cit.), considera que para regiões em desenvolvimento uma relação D/Q igual ou superior a 0,20 é crítica. É evidente, contudo, que o valor da relação crítica depende fortemente da capacidade da região em regularizar eficientemente o potencial de escoamento superficial. Em uma região como o Nordeste com alta variabilidade anual dos deflúvios, com uma taxa de evaporação e uma prolongada estação seca dos rios é de se esperar que o valor da relação crítica seja dos mais baixos em todo o planeta. Infelizmente, ao que parece, não foram desenvolvidos estudos nesse sentido para essa região. Para efeito do presente trabalho adotar-se-á, como indicativo de vulnerabilidade, uma relação igual a 0,10 (metade do valor preconizado por Gleick).

³ Gleick mede a variabilidade dos deflúvios através da relação entre a vazão quantitativamente excedido em 05% do tempo ($Q_{0,05}$) e a quantitativamente excedida 95% do tempo ($Q_{0,95}$). Essa grandeza não é apropriada para rios intermitentes como os do Nordeste e, dessa forma, optou-se por adotar no presente estudo o coeficiente de variação dos deflúvios anuais.

⁴ Valores obtidos pelo método do diagrama triangular de regularização- Campos(1990).

3.4.3 Variabilidade dos deflúvios anuais: CV

A capacidade de regularização de um reservatório depende preponderantemente da variabilidade interanual dos volumes escoados anualmente aos reservatórios. Quanto maior o coeficiente de variação maior a capacidade requerida por um reservatório para regularizar uma certa quantidade de água. Por exemplo, para regularizar 50% do volume escoado em uma dada bacia hidrográfica em um açude com fator de evaporação igual a 0,20 em um rio intermitente com coeficiente de variação igual a 0,60 é necessário que o reservatório tenha uma capacidade de acumulação igual uma vez o volume afluente médio anual; nas mesmas condições um rio com coeficiente de variação igual 1,4 necessitaria acumular cerca de oito vezes o deflúvio médio anual. Por sua vez, se o coeficiente de variação fosse igual a 1,5 o máximo regularizável por um reservatório, de capacidade infinita que não permitisse transbordamentos seria de 49% do volume escoado. Apesar da importância desse indicador não existe mapa para o Nordeste com isolinhas de CV.

3.4.4 Relação entre as vazões mínima e máxima (Q_{min}/Q_{max})

Esse indicador permite detectar a intermitência de um rio. A intermitência é um indicativo da necessidade de reservação de águas para permitir uma oferta confiável. Assim em um rio perene sem variabilidade interanual, o uso contínuo das águas escoadas no leito desse rio fictício poderia se dar sem necessidade construção de qualquer reservatório. Por sua vez, se rio fosse intermitente, com duas estações de igual duração, mantidas as demais condições, o uso das águas do rio iria requerer um reservatório de capacidade igual à metade do volume médio escoado. Se, como é mais comum no Nordeste, o uso das águas se desse predominantemente na estação seca, a capacidade de acumulação seria aproximadamente igual ao volume médio escoado. Esse seria o valor mínimo de capacidade para permitir uma regularização intra-anual.

3.5 Valores dos indicadores de vulnerabilidade: situação atual

Os estudos dos sistemas hidrológicos, por conveniência e tradição, tomam como unidade de análise e planejamento agrupamento de bacias hidrográficas. No presente caso o grupo de recursos hídricos optou por adotar a mesma unidade definida no PLIRHINE (Figura 4 Anexo A). Dessa forma, o Nordeste é formado por 24 unidades de planejamento (UP'_{i}) conforme a Tabela 3.1. A Tabela apresenta ainda os valores referentes ao escoamento total na bacia - incluindo o escoamento superficial e o subterrâneo.

⁵ Os valores constantes no PLIRHINE são muito elevados e optou-se por não reproduzi-los no presente documento



**Tabela 3.1 DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO(UP'S)
COM VALORES DOS ESCOAMENTOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS.**

UP	DENOMINAÇÃO Km ²	ÁREA		ESCOAMENTO HM ³ /ANO	
		sup	sub	total	
01	TOCANTINS MARANHENSE	32.900	5.450	500	5.969
02	GURUPÍ	50.600*	15.290	2.510	17,800
03	MEARIM-GRAJAÚ-PINDARÉ	97.000	14.140	3.430	17.570
04	ITAPECURU	54.000	7.750	1.550	9.300
05	MUNIM-BARREIRINHAS	27.700	5.690	3.120	8,810
06	PARNAÍBA	330.000	31,090	9.030	40.120
07	ACARAÚ-COREAÚ	30.500	3.390	1.360	5.270
08	CURU	11.000	2.010	350	2,360
09	FORTALEZA	14.700	1.740	530	2.270
10	JAGUARIBE	72.000	3.340	810	4.150
11	APODI-MOSSORÓ	15.900	520	300	820
12	PIRANHAS-AÇU	44.100	2.130	590	2,270
13	LESTE POTIGUAR	24.440	950	730	1.680
14	ORIENTAL DA PARAÍBA	23.760	1.290	900	2.190
15	ORIENTAL DE PERNAMBUCO	25.300	3.380	950	4.330
16	BACIAS ALAGOANAS	17.100	1.430	1.650	3,080
17	SÃO FRANCISCO	487.000*	34.400	16.700	41.100
18	VAZA-BARRIS	22.330	810	390	1.200
19	ITAPICURU-REAL	46.100	1.200	880	2.080
20	PARAGUAÇU-SALVADOR-RECÔNCAVO	81.560	4.215	4.205	8.420
21	CONTAS-JEQUIÉ	62.240	4.860	700	5.560
22	PARDO-CACHOEIRA	42.000	5.920	1.240	7.160
23	JEQUITINHONHA	23.200*	5.570	540	6.250
24	EXTREMO SUL DA BAHIA	27.300	1.540	5.440	6.980

Fonte: SUDENE - Plano Integrado de Aproveitamento Integrado dos recursos Hídricos do Nordeste do Brasil - PLIRHINE, 1980

3.5.1 Valores do indicador S/Q

O valor desse indicador reflete, principalmente, as ações do Governo Federal no Nordeste. De uma maneira geral, os locais de maiores valores de S/Q estão nas regiões mais áridas. Esse indicador não deve ser considerado isoladamente sob pena de transmitir uma falsa imagem de invulnerabilidade. Os valores altos de S/Q estão associados a regiões altamente vulneráveis às secas em condições naturais.

Note-se que na situação atual- horizonte de 1991 - apresentado na Tabela 3.2, os maiores valores de S/Q correspondem à bacia do Piranhas-Açu - 2,24- devido à presença barragem do Armando Ribeiro Gonçalves (maior reservatório do Nordeste em um rio intermitente). Em segundo lugar aparece a bacia do Jaguaribe com S/Q igual a 1,70, número resultado da ação do DNOCS com que construiu reservatórios de grande porte como o Orós e o Banabuiu. A bacia do São Francisco, rio perene, o valor relativamente elevado de S/Q -1,34 - é explicado pela presença dos reservatórios do sistema energético - entre esses o de Sobradinho, maior reservatório do Nordeste.

Tabela 3.2 VALORES DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE NO ANO DE 1991 NAS DIVERSAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO NOS HORIZONTES

UP	DENOMINAÇÃO	S/Q	D/Q	Qmin/Qmax
01	TOCANTINS MARANHENSE	<0,01	0,03	0,08
02	GURUPÍ	<0,01	0,02	0,14
03	MEARIM-GRAJAÚ-PINDARÉ	<0,01	0,04	0,13 - 0,23
04	ITAPECURU	<0,01	0,03	0,10 - 0,30
05	MUNIM-BARREIRINHAS	<0,01	0,03	0,20
06	PARNAÍBA	0,16	0,05	0,04-0,17
07	ACARAÚ-COREAÚ	0,35	0,05	0,0
08	CURU	0,51	0,12	0,0
09	FORTALEZA	0,37	0,33	0,0
10	JAGUARIBE	1,70	0,30	0,0
11	APODI-MOSSORÓ	0,80	0,29	0,0
12	PIRANHAS-AÇU	2,24	0,20	0,0
13	LESTE POTIGUAR	0,27	0,27	0,0
14	ORIENTAL DA PARAÍBA	0,48	0,26	0,0
15	ORIENTAL DE PERNAMBUCO	0,14	0,55	0,0
16	BACIAS ALAGOANAS	0,01	0,31	0,0
17	SÃO FRANCISCO	1,34	0,25	0,00 - 0,26
18	VAZA-BARRIS	0,25	0,18	0,0
19	ITAPICURU-REAL	0,31	0,12	0,0
20	PARAGUAÇU-SALVADOR-RECÔNCAVO	0,20	0,15	0,08 - 0,31
21	CONTAS-JEQUIÉ	0,11	0,14	0,06 - 0,15
22	PARDO-CACHOEIRA	<0,01	0,04	0,00 - 0,20
23	JEQUITINHONHA	<0,01	0,01	0,09
24	EXTREMO SUL DA BAHIA	<0,01	0,06	0,20

Fonte: Qmin/Qmax - PLIRHINE - normal hidrológica demais valores- estimados o estudo

O Maranhão -UP's 01 a 05 e parte da Bahia -UP's 22, 23 e 24 - apresentam os menores valores de S/Q. No Maranhão a presença de rios perenes e a relativamente pequena demanda explicam esse baixos índices. Na Bahia, Embora as disponibilidades dos rios perenes são suficientes para suprir as demandas.

A título de comparação, esse mesmo indicador foi calculado por Gleick (op.cit.) para algumas regiões dos Estados Unidos. Gleick encontrou os seguintes valores: Baixo Colorado - 4,22; Alto Colorado 2,61; Rio Grande 1,89; Nova Inglaterra 0,15. Nos Estados Unidos como no Nordeste Brasileiro, observa-se que nas regiões semi-áridas há uma demanda por acumulação de águas em reservatórios. Observe-se que o maior valor desse indicador nos Estados Unidos (4,22) é mais de uma vez e meia o maior valor do Nordeste (2,24).

Os valores desses indicadores foram projetados para os anos 2000, 2010 e 2020, Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5 baseados em programas dos Governos Estaduais e instituições federais que atuam no Setor Hídrico do. Nos valores projetados, observa-se que o maior índice S/Q passará a ser no vale do





Jaguaribe com 3,08 diante da expectativa da se construir o reservatório do Castanhão. O segundo maior valor passará a ser o da bacia do Piranhas-Açu -2,84 -. Esse índices projetados ainda se mostram inferiores aos da Região Semi-Árida dos Estados Unidos.

3.5.2 Valores do indicador Q_{min}/Q_{max}

- Esse indicador estima, de algum modo, a variabilidade dos deflúvios. Eles permite também detectar as UP's cuja fonte de água advêm de rios intermitentes-UP's com $Q_{min}/Q_{max} = 0$. Os valores apresentados referem-se à normais hidrológicas(1930-1961). No PLIRHINE as UP's: 03 - Mearim, Grajaú e Pindaré; 04 - Munim, Barreirinhas; 05 - Parnaíba; 17 - São Francisco; 20 -Paraguaçu-Salvador e Recôncavo; 21 - Contas e Jequié; e 22 - Pardo e Cachoeira, foram divididas em sub-unidades. Dessa forma os valores apresentados referem-se ao mínimo e ao máximo dessas sub-unidades.

No que refere-se às projeções para os horizontes 2000 a 2020, considerou-se que dentro de um cenário lento de mudanças climáticas - escala de

Tabela 3.3 VALORES DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE NO ANO DE 2000 NAS DIVERSAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO NOS HORIZONTES

UP DENOMINAÇÃO	S/Q	D/Q	Q_{min}/Q_{max}
01 TOCANTINS MARANHENSE	<0,01	0,03	0,08
02 GURUPÍ	<0,01	0,02	0,14
03 MEARIM-GRAJAÚ-PINDARÉ	<0,01	0,04	0,13 - 0,23
04 ITAPECURU	<0,01	0,03	0,10 - 0,30
05 MUNIM-BARREIRINHAS	<0,01	0,03	0,20
06 PARNAÍBA	0,22	0,06	0,04 - 0,17
07 ACARAÚ-COREAÚ	0,47	0,06	0,0
08 CURU	0,56	0,15	0,0
09 FORTALEZA	0,43	0,40	0,0
10 JAGUARIBE	3,08	0,37	0,0
11 APODI-MOSSORÓ	1,85	0,37	0,0
12 PIRANHAS-AÇU	2,84	0,25	0,0
13 LESTE POTIGUAR	0,27	0,35	0,0
14 ORIENTAL DA PARAÍBA	0,66	0,32	0,0
15 ORIENTAL DE PERNAMBUCO	0,21	0,68	0,0
16 BACIASALAGOANAS	0,01	0,37	0,0
17 SÃO FRANCISCO	1,36	0,30	0,00 - 0,26
18 VAZA-BARRIS	0,25	0,22	0,0
19 ITAPICURU-REAL	0,31	0,15	0,0
20 PARAGUAÇU-SALVADOR-RECÔNCAVO	0,20	0,19	0,08 - 0,31
21 CONTAS-JEQUIÉ	0,13	0,18	0,06 - 0,15
22 PARDO-CACHOEIRA	<0,01	0,05	0,00 - 0,20
23 JEQUITINHONHA	<0,01	0,01	0,09
24 EXTREMO SUL DA BAHIA	<0,01	0,07	0,20

Fonte: Q_{min}/Q_{max} - PLIRHINE - normal hidrológica demais valores- estimados o estudo

tempo da vida humana - os valores pertencem a uma série estacionária. Em consequência os índices se repetem nos horizontes de 2000, 2010 e 2020.

3.5.3 Valores do indicador D/Q-

Esse indicador mede o comprometimento dos recursos renováveis, deflúvio médio anual escoado, com o atendimento às demandas estabelecidas - consuntivas ou não consuntivas. não existe estudo no Nordeste que determine o nível crítico desse indicador. Gleick (op. cit.) considera que uma relação (uso consuntivo)/(recursos renováveis) superior a 0,20 é indício de que a situação é crítica. É razoável supor que uma relação D/Q superior a 0,30 seja indicador de condição crítica.

Tabela 3.4 VALORES DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE NO ANO DE 2010 NAS DIVERSAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO NOS HORIZONTES

UP	DENOMINAÇÃO	S/Q	D/Q	Qmin/Qmax
01	TOCANTINS MARANHENSE	<0,01	0,01	0,08
02	GURUPI	<0,01	0,02	0,14
03	MEARIM-GRAJAÚ-PINDARÉ	<0,01	0,04	0,13 - 0,23
04	ITAPECURU	<0,01	0,03	0,10 - 0,30
05	MUNIM-BARREIRINHAS	<0,01	0,03	0,20
06	PARNAÍBA	0,25	0,07	0,04-0,17
07	ACARAÚ-COREAÚ	0,54	0,07	0,0
08	CURU	0,58	0,18	0,0
09	FORTALEZA	0,45	0,48	0,0
10	JAGUARIBE	3,08	0,46	0,0
11	APODI-MOSSORÓ	1,85	0,46	0,0
12	PIRANHAS-AÇU	2,48	0,30	0,0
13	LESTE POTIGUAR	0,27	0,42	0,0
14	ORIENTAL DA PARAÍBA	0,76	0,38	0,0
15	ORIENTAL DE PERNAMBUCO	0,24	0,82	0,0
16	BACIAS ALAGOANAS	0,01	0,43	0,0
17	SÃO FRANCISCO	1,37	0,36	0,00 - 0,26
18	VAZA-BARRIS	0,25	0,25	0,0
19	ITAPICURU-REAL	0,31	0,18	0,0
20	PARAGUAÇU-SALVADOR-RECÔNCAVO	0,20	0,23	0,08 - 0,31
21	CONTAS-JEQUIÉ	0,13	0,22	0,06 - 0,15
22	PARDO-CACHOEIRA	<0,01	0,05	0,00 - 0,20
23	JEQUITINHONHA	<0,01	0,02	0,09
24	EXTREMO SUL DA BAHIA	<0,01	0,08	0,20

Fonte: Qmin/Qmax - PLIRHINE - normal hidrológica demais valores- estimados o estudo

⁷É importante que no futuro haja um estudo específico para o Nordeste dos limites críticos desse indicador. A adoção da demanda total e não a consuntiva pode mascarar alguns resultados principalmente onde houver grande demanda para fins de geração elétrica - Nesse caso as águas turbinadas podem ser usadas também para irrigação.

⁸A cidade de Fortaleza já vem importando água da bacia do Jaguaribe para atendimento de consumo industrial e domiciliar.

⁹Esse valor é praticamente "insustentável". A menos de importação de águas de outras regiões a demanda prevista não poderá ser estabelecida.





Analisando-se os valores da Tabela 3.2, pode-se notar que a UP 15 - região Oriental de Pernambuco - com D/Q igual a 0,55 é a região mais crítica do Nordeste. Em segundo lugar vem a UP 09 de Fortaleza com D/Q igual a 0,33. Outras UP's que apresentam valores elevados para esse indicador são as bacias: Jaguaribe com 0,30; Apodi-Mossoró com 0,29; Leste Potiguar com 0,27; Oriental da Paraíba com 0,26; Bacias Alagoanas com 0,31 e São Francisco com 0,25.

As bacias do Maranhão e Piauí ainda apresentam valores relativamente baixos para esse indicador (todos menores que 0,5). No Ceará a bacia do Coreaú-Acaraú também apresentam um valor bastante baixo (0,05), valor explicado pela pouca disponibilidade de reservatórios na bacia do Coreaú que resulta em não estabelecimento de demanda.

As projeções para os horizontes 2000, 2010 e 2020 não são otimistas. No horizonte 2020, mantidas as tendências, prevê-se um valor de 0,94 para região oriental de Pernambuco. Além dessa situação crítica sete UP's apresentam D/Q superior a 0,40 que denota situações críticas - principalmente as bacias de rios intermitentes onde predomina o uso consuntivo das águas.

Tabela 3.5 VALORES DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE NO ANO DE 2020 NAS DIVERSAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO NOS HORIZONTES

UP	DENOMINAÇÃO	S/Q	D/Q	Qmin/Qmax
01	TOCANTINS MARANHENSE	<0,01	0,04	0,08
02	GURUPÍ	<0,01	0,02	0,14
03	MEARIM-GRAJAÚ-PINDARÉ	<0,01	0,05	0,13 - 0,23
04	ITAPECURU	<0,01	0,04	0,10 - 0,30
05	MUNIM-BARREIRINHAS	<0,01	0,03	0,20
06	PARNAÍBA	0,30	0,08	0,04-0,17
07	ACARAÚ-COREAÚ	0,60	0,08	0,0
08	CURU	0,61	0,22	0,0
09	FORTALEZA	0,48	0,55	0,0
10	JAGUARIBE	3,08	0,55	0,0
11	APODI-MOSSORÓ	1,85	0,54	0,0
12	PIRANHAS-AÇU	2,84	0,35	0,0
13	LESTE POTIGUAR	0,27	0,49	0,0
14	ORIENTAL DA PARAÍBA	0,85	0,44	0,0
15	ORIENTAL DE PERNAMBUCO	0,28	0,04	0,0
16	BACIAS ALAGOANAS	0,01	0,49	0,0
17	SÃO FRANCISCO	1,37	0,41	0,00 - 0,26
18	VAZA-BARRIS	0,25	0,29	0,0
19	ITAPICURU-REAL	0,31	0,20	0,0
20	PARAGUAÇU-SALVADOR-RECÔNCAVO	0,20	0,25	0,08 - 0,31
21	CONTAS-JEQUIÉ	0,14	0,27	0,06 - 0,15
22	PARDO-CACHOEIRA	<0,01	0,06	0,00 - 0,20
23	JEQUITINHONHA	<0,01	0,02	0,09
24	EXTREMO SUL DA BAHIA	<0,01	0,09	0,20

Fonte: Qmin/Qmax - PLIRHINE - normal hidrológica demais valores- estimados o estudo

3.6 - Sistemas de água e esgoto nos estados

O nível de atendimento em serviços de água e esgoto é um indicador importante de vulnerabilidade. É fato de todos conhecidos que esses níveis de atendimento são extremamente baixos nos estados do Nordeste. Um levantamento abrangente e importante foi realizado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental que resultou na publicação do Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Os dados apresentados a seguir, por estado, foram extraídos da citada publicação.

3.6.1 Maranhão

Caracteriza-se por uma pluviosidade mais alta em relação aos demais estados da Região Nordeste. Os principais rios são caudalosos, perenes típicos de planície; executam-se os afluentes do baixo balsa que se enquadram entre os intermitentes. Não apresenta substrato cristalino. Os grandes grupos de vegetações da área são: floresta equatorial, cocais de babaçu, cerrado. O Estado embora incluído na área da SUDENE não está inserido no Polígono das Secas. Os principais rios do Estado são o Tocantins, o Gurupi, o Pindaré, o Mearim, o Parnaíba o Turiaçu e Itapecuru. No estado existe uma grande deficiência de dados hidrometeorológicos que podem dificultar o estabelecimento de um futuro sistema de gerenciamento das águas. Embora não seja atingido com a mesma frequência que os demais estados, o Maranhão é atingido por secas de grande abrangência espacial. Almeida (1994) faz referência à seca de 1711 como tendo se estendido até o Maranhão. Segundo o mapa de incidência de secas da SUDENE, as secas do Nordeste estendem-se ao Maranhão em menos de vinte por cento dos casos.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 203 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 1,76 milhão de habitantes correspondendo a 35% da população total do Estado. Cerca de 3,3 bilhões de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 7% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.2 Piauí

O Estado está totalmente inserido no domínio da bacia do rio Parnaíba e representa 76% dessa bacia. Cerca de 83% da superfície do Estado encontra-se sobre formações sedimentares com boas condições de armazenamento de águas subterrâneas. Os 17% restantes são ocupados por rochas do embasamento cristalino. A região dispõe de boas reservas subterrâneas e superficiais do Rio Parnaíba. A vazão média do Parnaíba, próxi-





mo à foz, é de 800 m³/s baixando para cerca de 200 m³/s em períodos de estiagem. Os principais rios são: o Parnaíba, perene na totalidade do seu curso, o Uruçuí Preto, Gurguéia, Canindé, Poti e Longá, intermitentes em pelo menos parte de seus leitos. A parte Nordeste do Estado está inserida na área com maior incidência de secas (81 a 100%).

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 143 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 1,267 milhão de habitantes correspondendo a 51,7% da população total do Estado. Cerca de 1,357 bilhão de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 2,11% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.3 Ceará

Considerado o estado mais seco do Nordeste o Ceará está quase que totalmente incluído na área de maior incidência de secas (isolinha de 81 a 100%). Devido à inexistência de rios permanentes e às poucas reservas subterrâneas, a oferta de água confiável para usos como irrigação está condicionada à existência de reservatórios superficiais. É o Estado onde a ação do DNOCS na construção de açudes foi mais intensa. Os principais rios são: o Coreaú, o Acaraú, o Curu, Pacoti, o Jaguaribe e seus afluentes Banabuiu, Salgado e Conceição.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 143 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 1,267 milhão de habitantes correspondendo a 51,7% da população total do Estado. Cerca de 1,357 bilhão de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 2,11% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.4 Rio Grande do Norte

Como o Ceará, o Rio Grande do Norte apresenta-se como um dos estados mais secos do Nordeste. Não dispõe de rios perenes de porte que possam assegurar uma vazão segura. Entretanto, Natal, a capital do Estado, dispõe de excelentes reservas subterrâneas que garantem o seu abastecimento de água. A cidade não passou por crise na seca 1990-1993. Os principais rios do Estado são o Mossoró, Apodi, Açu, Pongi, Trairi, Jundiaí, Jacu Seridó e Curimataú. O Estado já dispõe de uma capacidade de acumulação

de 3,475 bilhões de metros cúbicos e planeja ampliar essa capacidade em mais 5,0 bilhões.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 182 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 1,423 milhão de habitantes correspondendo a 57,5% da população total do Estado. Cerca de 1,049 bilhão de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 7,2% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.5.5 Paraíba

Com o Ceará e o Rio Grande do Norte, a Paraíba forma o conjunto dos três estados mais atingidos pelas secas. Os três apresentam a característica comum de disporem de rios permanentes de porte. Possui cerca de dois terços do seu território na área de maior incidência de secas. Fica fora dessa área a região litorânea da Zona da Mata. Os principais rios são: Paraíba, Piancó, Piranha, Taperoá, Mamanguape, Curimataú, do Peixe, Camaratuba, Espinharas, Miriri e Gramame.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 182 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 1,883 milhão de habitantes correspondendo a 57,7% da população total do Estado. Cerca de 1,376 bilhão de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 12,8% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.6 Pernambuco

Apresenta a parte do litoral na zona da mata com boa pluviosidade e menos vulnerável às secas. Contudo cerca de 50% da superfície do Estado está inserida no zona crítica das secas. O Pernambuco por ser um dos estados do Nordeste banhado pelo São Francisco fica menos vulnerável, em parte de sua superfície, a graves crises de seca hidrológica. Os principais rios são: o São Francisco, o Capibaribe, o Ipojuca, o Una, o Pajeú e o Jaboatão.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 383 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 4,744 milhões de habitantes correspondendo a 65,5% da população total do Estado. Cerca de 2,493 bilhões de habitantes não são atendidos pela rede de água.

¹⁰ Dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos, Série Caminhos para o futuro n1%; dezembro de 1992. Assembléia Legislativa do Rio Grande do Norte.





Somente 13,5 da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.7 Alagoas

Grande parte da superfície do estado está incluída na zona da mata menos vulnerável às secas. Está totalmente fora da zona crítica das secas. A região de maior periodicidade de secas está a leste do estado e corresponde a isolinhas de frequências entre 61 e 80%. O estado também é banhado pelo São Francisco que traspasa a zona semi-árida e a torna menos vulnerável a secas hidrológicas. Ficam mais vulneráveis regiões não abastecidas por adutoras do São Francisco. Os principais rios do Estado são: o São Francisco, Mundaú e Paraíba do Meio.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 244 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 1,147 milhão de habitantes correspondendo a 44,6% da população total do Estado. Cerca de 1,424 milhão de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 6,8% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.8 Sergipe

Apresenta situação similar a de Alagoas. O Estado está totalmente fora da zona crítica das secas. A zona mais crítica situa-se a noroeste do Estado e está abrangida pela isolinha de frequência de secas entre 61 e 80%. Parte do semi-árido do Estado é alimentado por adutoras do São Francisco e portanto pouco vulnerável a secas no abastecimento de águas. Restam contudo regiões ainda dependentes dos carros pipas. Os principais rios são o São Francisco, Vaza Barris, Sergipe, Japaratuba, Piauí e Real.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 143 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 923 mil habitantes correspondendo a 60,0% da população total do Estado. Cerca de 605 mil de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 7,4% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.6.9 Bahia

Constitui-se no estado de maior superfície do Nordeste. Uma pequena porção do Estado, na parte norte, no denominado cotovelo do São Francisco, está englobada pela zona crítica das secas. Uma segunda faixa, logo ao sul da zona crítica, situa-se entre as isolinhas de frequência de secas entre 61-

80%. A parte crítica do estado é banhada pelo São Francisco a torna menos vulnerável às secas no abastecimento dos aglomerados urbanos. Os principais rios do Estado são: o São Francisco, Paraguaçu, Jequitinhonha, Itapicuru, Capivari e de Contas.

Atendimento em água à população:

Os sistemas de abastecimento de água atendem a 521 localidades incluídos vilas e distritos. O suprimento de água atende cerca de 5,284 milhões de habitantes correspondendo a 43,7% da população total do Estado. Cerca de 6,808 milhões de habitantes não são atendidos pela rede de água. Somente 5,0% da população é atendida por sistema de esgoto o que evidencia o risco de contaminação das águas e propagação de doenças de veiculação hídrica.

3.7 Vulnerabilidade dos reservatórios-barragens

As características físicas e climáticas do Nordeste Semi-Árido fazem com que a presença da açudagem seja condição "sine qua non" para que a Região possa ser habitada por um contingente razoável de pessoas. Segundo Tomás Pompeu Sobrinho, a história da açudagem no Nordeste antecede à colonização portuguesa.

Filosoficamente, um açude pode ser entendido como um sistema que transporta água ao longo do tempo. Esse processo de transporte temporal consiste em armazenar os excedentes, em água, dos períodos úmidos, para uso nos períodos de estiagem. Dessa maneira, a variabilidade do rio é reduzida e parte dos efeitos das secas podem ser mitigados.

Nesse transporte o açude atua como um sistema de transformação. As águas oriundas dos deflúvios naturais, recebidas e armazenadas pelo reservatório, são transformadas em três partes: a sangria; a evaporação; o consumo.

A sangria forma a parte dos deflúvios que o reservatório, devido ao seu tamanho limitado, não consegue controlar. Obviamente, se o açude tivesse uma capacidade infinita, todas as águas que lhe afluíssem seriam controladas e não haveria sangria. Em contrapartida o custo desse açude seria demasiadamente elevado para que a sociedade estivesse disposta a pagá-lo. A sangria constitui a parte das águas que retornam ao leito do rio e, na ausência de outro reservatório a jusante, transformam-se em perdas da bacia hidrográfica para o oceano.

A águas evaporadas a partir do lago consistem em perdas irreversíveis da bacia hidrográfica. As águas da superfície do açude são transferidas para a atmosfera para, em algum outro lugar não previsível, retornarem à superfície da terra sob alguma forma de precipitação.





Entretanto, uma análise mais profunda do processo, mostrará que, no caso específico do Nordeste, os açudes não introduzem as perdas por evaporação, mas, simplesmente, fazem com que elas ocorram em um lugar distinto daquele onde fatalmente elas ocorreriam. Na hipótese de ausência de açudes, as águas dos rios caminhariam para o mar, encontrariam pouco uso nesse percurso, evaporariam do oceano.

As águas regularizadas constituem a parte dos deflúvios naturais, controladas pelo açude, que proporcionam benefícios à sociedade. A regularização pode ser entendida como um ajustamento da oferta à demanda. A demanda em água se dá em um determinado local, em tempo específico, com um dado padrão de qualidade. No Nordeste, a quase totalidade da demanda ocorre na segunda metade do ano, enquanto que as disponibilidades naturais acontecem na primeira metade. Essa regularização de águas é que torna possível a sobrevivência de razoáveis contingentes humanos no Sertão Semi-Árido. Buscar regularizar a máxima quantidade de água dentro das limitações da natureza e da economia do País deve se constituir um objetivo dos planejadores de recursos hídricos do Semi-Árido.

3.7.1 Parâmetros de vulnerabilidade dos reservatórios

São definidos os seguintes parâmetros de vulnerabilidade dos reservatórios:

CV - Coeficiente de variação dos deflúvios anuais; quanto maior o CV maior a capacidade requerida para uma regularização interanual das águas;

fE - fator adimensional de evaporação; mede o efeito da evaporação no desempenho do reservatório - agrupa os efeitos da intensidade da evaporação; da forma da bacia hidráulica e da capacidade do reservatório de tomar água; obtido da equação adimensional do balanço hídrico (Campos, 1987), é igual a $(3 \frac{1}{3} \cdot EL/F^{1/3})$, onde EL representa a lâmina evaporada durante a estação seca; o fator de forma da bacia hidráulica e F o volume médio afluente ao reservatório.

fK - fator adimensional de capacidade - mede a capacidade que o reservatório tem de acumular água nos anos de excedentes para uso nos anos com deficiência.

PE - probabilidade de esvaziamento - embora não propriamente um parâmetro do reservatório e sim um risco de esvaziamento assumido

¹¹ Em rios intermitentes, não perenizados por açudes, não se instalam atividades consumidoras de águas

pelo planejador, a probabilidade de esvaziamento reflete a chance do reservatório encontrar-se vazio em uma dada unidade de tempo; assim, em uma escala anual uma probabilidade de esvaziamento de 10 % significa que o açude seca 10% dos anos.

3.7.2 Definindo a regra de operação do açude

Um dos dilemas enfrentados no Nordeste é a adoção de uma regra de retiradas de água dos açudes:

- se for retirada uma pequena quantidade de água relativamente ao volume afluente médio anual aumenta-se a segurança na capacidade de fornecer água nos períodos de crise, contudo aumenta-se o tempo médio de permanência das águas acumuladas nos açudes (tempo de oportunidade para as águas acumuladas evaporem) e reduz-se os benefícios gerados nos anos de disponibilidades;
- se for retirada uma grande quantidade de água haverá um decréscimo das perdas por evaporação, um aumento dos benefícios nos bons anos porém, em contrapartida, as "secas" se amiarão.

Inicialmente, adotando uma estratégia de segurança, a SUDENE preconizou, durante a elaboração dos Estudos de Base do Vale do Jaguaribe, para os grandes açudes, a adoção de uma retirada na qual não houvesse falha caso a série de vazões no futuro repetisse a série observada no passado.

Uma primeira análise em busca de definir o ponto de equilíbrio de uma retirada ótima foi desenvolvida no âmbito do Programa Plurianual de Irrigação (PPI) elaborado pelo Grupo de Executivo de Desenvolvimento Agrícola (GEIDA). O método, baseado apenas em considerações econômicas e restringindo-se ao uso para irrigação indicou que a retirada "ótima" seria aquela na qual a frequência de falhas, ou secas, fosse de dez meses em cada cem.

Dando prosseguimento aos trabalhos da SUDENE no vale do Jaguaribe, o DNOCS adotou em um estudo de seis açudes de porte meio no Ceará uma política de estratificação do reservatório para diferentes níveis de garantia. Assim era garantida um volume no açude a partir do qual a retirada seria reduzida e destinada somente à preservação de usos mais nobres.

A idéia do GEIDA, frequência de falhas com garantia em 90% dos meses, teve uma certa predominância sobre as demais. Todavia, simulações

¹² A forma da bacia hidráulica do lago pode ser representada pela equação $Z(h) = \alpha h^3$; onde $Z(h)$ denota o volume da reserva quando a superfície do lago encontra-se na altura h ; h é medido em relação ao ponto mais profundo do açude, isto é: $Z(0) = 0$. O adimensional α , fator de forma, pode ser obtido a partir da regressão linear, passando pela origem, de $Z(h)$ vs h^3 .



mostraram que essa frequência de falhas de 10% poderia significar, em alguns casos, uma seqüência de dezoito meses sem água. Ora um episódio de dezoito de meses de falhas é muito mais grave que dezoito episódios isolados de um mês de falha. Esse fato alertou os planejadores de recursos hídricos da Região que retornaram ao conceito de reserva de segurança.

Vale ressaltar também a proposta de técnicos do Bureau of Reclamation, contratados pelo Ministério de Irrigação para assessorar o PROINE (Programa de Irrigação do Nordeste): o Bureau considera que a vazão retirada deve ser aquela obtida da simulação de uma série histórica na qual no ano mais crítico o déficit acumulado não supera a 65% da demanda anual; no biênio mais crítico o déficit acumulado não supera a 100% da demanda no período; nos dez anos consecutivos mais críticos o déficit acumulado não supera a 200% da demanda no período. O critério preconizado pelo Bureau, comparado com o do GEIDA, conduz a uma segurança maior no fornecimento de água e, em consequência, uma retirada menor. Contudo sua aplicação ainda não foi bem avaliada.

A observação dos diversos projetos conduzidos no Nordeste mostra que os critérios de determinação de vazão regularizada e a respectiva

Há de se resumir a análise em alguns pontos como:

1. a frequência de secas hidrológicas, ou de falha no atendimento de água a partir dos reservatórios de superfície, é uma decisão do planejamento da operação dos açudes
2. a evaporação das águas acumuladas nos açudes do Nordeste não significa, necessariamente, que elas estão sub-utilizadas; a evaporação é um preço a pagar pela segurança.

3.7.3 A seleção de uma seca crítica

Na terminologia científica as secas são caracterizadas pelas seguintes grandezas:

1. início, que delimita no tempo o instante em que a seca começa produzir efeitos;
2. duração, intervalo de tempo que vai desde o início ao final da seca;
3. intensidade, grandeza que busca medir o grau de desconforto causado pela seca;
4. abrangência, define a área afetada pela seca.

A história da hidrologia do Nordeste Brasileiro apresenta um grande número de anos secos. Contudo, até meados do século XIX, quando a rede pluviométrica da região era altamente deficiente, a intensidade das secas era

¹³ Contrato entre DNOCS e SCET-INTERNATIONAL e SIRAC, para os estudos do aproveitamento hidroagrícola dos açudes Aires de Sousa, Forquilha, Várzea do Boi, Cedro e Riacho do Sangue

avaliada mais em função de seus impactos sociais do que propriamente das anomalias climáticas.

Contudo, devido a grande deficiência em estações pluviométricas e fluviométricas, não se pode afirmar que, nesse aspecto, a seca de 1877/79 tenha tido maior ou menor intensidade do que as ocorridas no presente século. A tragédia ocorrida de 1877 a 1879 pode ser atribuída mais a vulnerabilidade das estruturas existentes para conviver com o fenômeno do que à deficiência pluvial. Dessa forma, por falta de medições não é possível adotar essa seca como seca crítica. Fica a ela reservada o papel de "seca crítica social."

No início do século, com a criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas teve início o processo de medição sistemática das variáveis climatológicas e hidrológicas. Alguns estudos recentes elaborados por consultores do Bureau of Reclamation para o DNOCS determinaram que a seca crítica do presente século correspondia ao período 1974 - 1983. Esse período inicia com anos com deflúvios fracos (1975 - 1978) sucedido por 5 anos de secas (1979-1983).

Para estudar esse período selecionou-se o rio Caxitoré no local do açude de mesmo nome. A operação simulada do açude foi executada cobrindo o período de 1912 a 1988 (77anos). Analisaram-se duas regras de operação: a primeira equivalente a uma frequência de falhas de 10% mensais e a segunda correspondendo a uma frequência de falhas de 10% anuais. O objetivo foi de verificar como as falhas se distribuem ao longo dos meses.

Operação do açude com frequência de falhas de 10% anual

Nessa hipótese o açude Caxitoré regulariza 46 hm³/ano que corresponde a cerca de 36,5 % dos 126,0 hm³ escoados, em média, na bacia. Na operação ocorreram três períodos de falha: um de dois meses, dois de cinco meses e um de 21 meses(Figura 5 Anexo A). Conclui-se que a ocorrência de períodos críticos tendem a concentrar as falhas em uma longa seqüência de meses. A dificuldade consiste em ultrapassar o período crítico.

Operação do açude com frequência de falhas de 10% mensal

Nessa hipótese o açude Caxitoré regulariza cerca de 66hm³ por ano que representam aproximadamente 52,3% do escoamento anual. Esse valor também representa um acréscimo de cerca de 44% do volume regularizado com uma frequência de falha de 10% anual. Contudo o grave nesse aspecto é a maneira como as falhas se distribuem a longo do tempo (Figura 6 Anexo A). A operação simulada mostrou que no período mais crítico, 1979 a 1984, ocorreram 4 seqüências de períodos sem oferta d=água com durações de: de 20 meses, de 5 meses, de 2 meses e de 22 meses, respectivamente. Esse números representam 49 meses, alternados, sem água em um período total de 67 meses.





Da operação simulada do açude pode-se extrair as seguintes conclusões:

- 1) a adoção de uma regra de operação de um açude com menor garantia resulta em um menor tempo de oportunidade para evaporação a partir do lago do reservatório e, em consequência, em grandes ganhos do volume regularizado;

Tabela 4.1 - QUADRO DE FALHAS DO AÇUDE CAXITORÉ EM UMA GESTÃO SIMULADA COM GARANTIA EM 90% DOS MESES

DURAÇÃO DA FALHA (MESES)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	DURAÇÃO DA FALHA (MESES)	NUMERO DE OCORRÊNCIAS
2	2	8	1
4	1	10	1
5	4	20	1
7	1	22	1

Obs: Ocorrências e duração dos períodos sem fornecimento de água no açude Caxitoré para uma frequência de falhas de 10% dos meses em uma gestão simulada de 948 meses (1912-1988) com uma retirada de 66 hm³/ano.

- 2) o contraponto a esse ganho em volume regularizado é a ocorrência de longos períodos sem oferta de água que podem ser insuportáveis para consumos mais nobres, como o abastecimento humano, ou mesmo para irrigantes de pequenas áreas que não possibilitam a acumulação de reservas financeiras para vencerem as crises.

Pode-se resumir do que foi discutido e analisado nessa seção que as altas perdas por evaporação a partir dos lagos formados pelos açudes do Nordeste podem ser também entendidas como um preço a pagar para uma maior obtenção de águas com uma maior garantia.

4. VULNERABILIDADE ÀS SECAS EM UM CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nos meios científicos muito se tem falado sobre uma prospectiva mudança climática no Planeta como resultado das emissões de dióxido de carbono e de outros gases. Embora não haja uma certeza de como a biosfera irá responder à acumulação desses gases, grande parte da comunidade científica internacional acredita na elevação temperatura média do Globo e do nível das águas os oceanos.

Um aumento médio, entre 1E e 5 EC, na temperatura do Globo é considerada provável de ocorrer nos próximos 50 anos (Chang,L.H. , C. Hunsaker e J. Draves, 1992). Ao lado dessa idéia predominante existe praticamente um consenso de que haverá também uma modificação no regime pluvial em muitas regiões . Contudo, a incerteza predomina quando se deseja saber se, em um determinado local haverá acréscimo ou decréscimo na pluviosidade média.

Segundo informações do Grupo de Recursos Naturais do projeto ARIDAS há indícios de que possam ocorrer os seguintes processos:

- aumento do regime de evaporação;
- modificação do regime de pluvial com perspectivas das chuvas tornarem-se mais intensas e com maior variabilidade interanual.

Poucos cientistas arriscam calcular como esse processo será distribuído espacialmente sobre o globo terrestre: uma previsão quantitativa, para uma determinada região, envolve uma grande incerteza. Nesse cenário de incerteza, optou-se por estudar como as modificações de certos parâmetros climáticos influenciam a periodicidade de ocorrência das secas. Assim, o estudo foi dividido em duas partes: 1) na seca edáfica, segue-se a metodologia desenvolvida por Campos, Studart e Lima (1994) que busca determinar qual o percentual de aumento na pluviosidade para contrabalançar um aumento na evapotranspiração sem alterar a frequência de secas edáficas; 2) na seca hidrológica buscou-se determinar qual a influência da modificação de parâmetros hidrológicos do regime de escoamento influenciam na capacidade de regularização dos açudes.

4.1 As secas edáficas no cenário de mudanças climáticas

CDeterminação da ocorrência de seca agrícola Diz-se que em um dado ano ocorreu uma seca agrícola para uma cultura de duração de ciclo vegetativo DCV em um dado solo com capacidade de retenção S se, naquele ano, a duração do CMACU for inferior ao ciclo vegetativo da cultura considerada.

$$SECA6 \text{ CMACU} < \text{DCV}$$

$$\text{INVERNO6 CMACU} \$ \text{DCV}$$

• Determinação da probabilidade de ocorrência de seca CMACU é uma variável aleatória cujos parâmetros estatísticos podem ser facilmente determinados. Ajustando-se a amostra de n valores a uma função distribuição de probabilidade conhecida, pode-se calcular a probabilidade de ocorrência de uma seca par uma cultura de ciclo vegetativo de duração DCV, como se segue:

$$\text{Pr} \{ \text{seca} \} = \text{Pr} \{ \text{CMACU} < \text{DCV} \},$$

conseqüentemente, o período de retorno da seca é:

$$\text{Tr} \{ \text{seca} \} = 1 / \text{Pr} \{ \text{CMACU} < \text{DCV} \}$$



O estudo referido selecionou três postos pluviométricos do Estado do Ceará: Crato, Saboeiro e Fortaleza. Esses postos representam três diferentes regimes pluviais: o de Crato, que representa a região do Cariri, sul do Ceará, cuja estação chuvosa é determinada por dois sistemas sinóticos distintos - as frentes frias e a ZCIT; o de Saboeiro, representado os sertões dos Inhamuns, região mais seca do Estado do Ceará, onde o regime pluvial é devido quase que exclusivamente à descida da Zona de Convergência; e finalmente o de Fortaleza, que além da ZCIT, é influenciado pelas brisas do litoral.

Os resultados (Figuras 7, 8 e 9) mostraram que, nas três localidades estudadas e nos dois tipos de solos examinados, para que não haja um incremento na frequência das secas no Nordeste Brasileiro é necessário que o aumento na pluviosidade seja superior ao aumento da taxa de evapotranspiração. Somente uma melhor repartição temporal das chuvas, que os modelos parecem não indicar, é que contrabalançariam os impactos negativos de um provável aumento no total evaporado mesmo na hipótese de igual aumento na pluviosidade.

Resumindo, na situação de aumento de evaporação, em um determinado local, para que a periodicidade das secas não seja agravada é necessário a pluviosidade aumente em um percentual maior a evaporação. Esses resultados podem ser explicados da seguinte maneira: se a evapotranspiração e a pluviosidade aumentam ambas de $x\%$, para que a periodicidade das secas não seja agravada seria necessário que todo o acréscimo da chuva fosse armazenado pelo solo e ficasse à disposição das culturas. Essa situação é praticamente impossível pois o acréscimo de chuvas de grande lâmina por certo encontrarão o solo saturado e serão percoladas ou escoadas superficialmente. Dessa forma, a conclusão obtida numericamente para os três postos do Estado do Ceará pode ser extrapolada para o restante do Nordeste Semi-Árido onde se pratica a agricultura de sequeiro.

Deve-se observar que alguns modelos indicam uma redução no total precipitado. Ora, se na situação de iguais aumentos na lâminas evaporadas e precipitadas o efeito é o agravamento da periodicidade das secas, caso haja redução a perspectiva torna-se mais grave.

4.2 As secas hidrológicas em um cenário de mudanças climáticas

A ocorrência de secas hidrológicas no Nordeste Semi-Árido de rios intermitentes decorre, como foi anteriormente descrito, da operação dos reservatórios superficiais. Dessa maneira, as tendências de aumentar ou diminuir a vulnerabilidade às secas hidrológicas podem ser estimadas indiretamente examinando-se como a alteração de certos parâmetros hidrológicos afeta as eficiências dos reservatórios superficiais.

Analisaram-se os seguintes cenários:

1. Em um cenário de aumento de variabilidade dos deflúvios anuais, mantidas as demais condições constantes, como será alterada a eficiência dos açudes;
2. Em um cenário de aumento da lâmina de evaporação e deflúvio afluente médio anual, em iguais proporções, mantida a variabilidade interanual, como será alterada a eficiência dos açudes.

CASO 1- Eficiência dos reservatórios e a variabilidade interanual dos deflúvios:

Nessa análise utilizou-se o método do Diagrama Triangular de Regularização (Campos, 1990). Uma descrição sucinta do método é apresentada no Anexo B. A análise partiu das seguintes condições: adotou-se para o fator adimensional de evaporação o valor de 0,20 que representa um número médio para o Nordeste; para o fator adimensional de capacidade adotou-se o valor de 2,0; o coeficiente de variação dos deflúvios anuais variaram de 0,60 a 1,60 em intervalos de 0,1. Para cada valor do coeficiente de variação calculou-se: o percentual regularizado pelo açude; o percentual sangrado do açude e o percentual evaporado. Os valores constam nas Tabela 4.1 e 4.2 e Figuras 10 e 11(Anexo A).

	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
reg	63,2	60,0	53,2	49,0	46,0	42,0	38,0	35,0	32,5	29,0	26,5
eva	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21	21	21	21,5	21,5
san	15,8	19,0	25,8	30,0	33,0	37,0	41,0	44,0	46,5	49,5	52,0

Tabela 4.1 Valores dos percentuais sangrado, evaporado e regularizado por um açude com fator adimensional de evaporação igual a 0,2 e fator adimensional de capacidade igual a 2,0.

Tabela 4.2. Valores dos percentuais sangrado, evaporado e regularizado por um açude com fator adimensional de evaporação igual a 0,2 e fator adimensional de capacidade igual a 1,0.

	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
reg	48,0	45,0	40,0	38,0	33,5	30	26	24	20,5	19	18
eva	13,0	13,0	13,0	14,0	13	13,5	13	13,5	14,0	13	14
san	39,0	42,0	47,0	48,0	53,5	56,5	61,0	62,5	65,5	68,0	68,0

CONCLUSÕES - em resumo, o aumento da variabilidade dos deflúvios anuais de um reservatório resulta em um transferência do volume anual regu-



larizado para volume de sangria. Como não incremento das perdas por evaporação, poder-se-ia imaginar que as perdas não são irreversíveis pois o aumento da capacidade do açude reverteria o processo. Seja o exemplo:

Em um rio com deflúvio médio anual(F) igual a 100 u.v. (unidades volumétricas) existe um reservatório, com fator adimensional de evaporação(fE) igual 0,20 que acumula 200 u.v.. Nessas condições esse reservatório apresenta o seguinte desempenho:

volume anual regularizado 46 u.v.
volume anual evaporado 21 u.v.
volume anual sangrado 33 u.v.

Se nesse local o coeficiente de variação passar para 1,2, mantidas as demais condições constantes, o reservatório passará a ter o desempenho:

volume anual regularizado 38u.v.
volume anual evaporado 21 u.v.
volume anual sangrado 41 u.v.

Conseqüência do acréscimo de CV

O volume regularizado decresceu em 8 u.v; o volume sangrado cresceu em 8 u.v. e o volume evaporado permaneceu constante. Poder-se-ia imaginar que, como não houve perdas irreversíveis, as 8 u.v. seriam recuperáveis com o aumento da capacidade do reservatório. Analise-se o que acontece.

Ação para recuperar as perdas em regularização

Para recuperar as 8 u.v. a capacidade do reservatório deve ser acrescida para 300 u.v. e o reservatório passará a ter o seguinte desempenho:

volume anual regularizado 46u.v.
volume anual evaporado 29 u.v.
volume anual sangrado 25 u.v.

Resultado final

O resultado final do acréscimo de evaporação e da ação de aumentar a capacidade do açude para recuperar as perdas de regularização seria, além do dispêndio financeiro, de transportar 8 u.v. que eram extravasadas do açude, parcialmente regularizáveis a jusante, em 8 u.v. de perdas por evaporação, portanto irreversíveis para o sistema.

Deve-se ter em mente, todavia, que existem muitas situações práticas em que essa recuperação não é possível: elas referem-se a valores mais elevados do fator de evaporação e/ou fator de capacidade. Por exemplo se



no problema anterior o valor de fE fosse 0,40 e o fK fosse 2,0 o desempenho do reservatório seria

volume anual regularizado 34u.v.

volume anual evaporado 49 u.v

volume anual sangrado 17 u.v.

Entretanto se o CV passasse para 1,20, a máxima regularização provida pelo reservatório, se fosse possível construí-lo com tamanho infinito, seria de 32 u.v.. O desempenho do reservatório seria:

volume anual regularizado 32 u.v.

volume anual evaporado 68 u.v

volume anual sangrado 0 u.v.

CASO 2 - Cenário de aumento da lâmina de evaporação e precipitação pluvial em iguais proporções, mantida a variabilidade interanual; admite-se que 25% do acréscimo na pluviosidade transformar-se-á em lâmina de escoamento. Esse valor é razoável visto que nas condições o coeficiente de escoamento médio varia entre 10 e 15% da altura de chuva. Como, como esse rendimento aumenta com o aumento da pluviosidade uma transformação de 25% do incremento em chuvas parece ser de razoável para otimista. Ademais, dentro do atual cenário de incertezas a hipótese torna-se bem aceitável.

Dessa forma optou-se por analisar a seguinte situação: um reservatório abastecido por um deflúvio anual de 100 u.v., com coeficiente de variação 1,0; fator adimensional de evaporação 0,20, capacidade de acumulação de 200 u.v.. Estudou-se o comportamento desse reservatório com a evaporação, e a precipitação, variando de 0 até 30% positivamente em intervalos de 1% sempre em relação à condição original.

Nesse caso, a pequena sensibilidade dos fatores adimensionais de evaporação e capacidade impossibilitaram o uso do método do Diagrama Triangular de Regularização. Optou-se então por utilizar a versão analítica que deu origem ao método do DTR(Campos, 1987). O método analítico consiste na aplicação da teoria estocástica dos reservatório, método da matriz de transição de Moran, adaptada para as condições dos rios do Semi-Árido. Esse método, por tratar os volumes de forma discreta apresenta pequenas flutuações numéricas, porém, como será visto, permite detectar as tendências no comportamento da eficiência do reservatório.

Os resultados (Figura 12) mostram que:

1. o rendimento do reservatório, na hipótese considerada, é pouco sensível a pequenos incrementos(até 15%) simultâneos, e em iguais proporções, da evaporação e da pluviosidade -considerando que 25% do incremento de chuva transforma-se em escoamento superficial;





2. a partir dos 15% no aumento da evaporação/pluviosidade, o decréscimo no rendimento do reservatório torna-se mais acentuado

3. o aumento simultâneo, e em iguais proporções, da evaporação e da pluviosidade, é desfavorável ao rendimento hidrológico dos reservatórios barragens do Nordeste do Brasil.

5.0 DIRETRIZES A UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A ação federal no estabelecimento de uma política contra as secas no Nordeste Brasileiro, segundo Magalhães e Glantz (1992), pode ser dividida em seis fases distintas:

1. a fase de estudo (1877-1906);
2. a fase hidráulica (1906-1945);
3. a fase ecológica (1945-1950);
4. a fase do desenvolvimento econômico (1950-1970);
5. a fase do desenvolvimento sócio-econômico (1970- 1990);
6. a fase do desenvolvimento sustentável (1990- ?).

A fase de estudo, que sucede à seca de 1877, constou de discussões e teorizações sobre caminhos a trilhar no combate às secas. Duas idéias eram dominantes: a construção de poços artesianos e açudes e a transferência de águas do São Francisco para o Jaguaribe. Por exemplo, em 1883, o Professor José Américo dos Santos, do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro, defendeu a irrigação por meio de açudagem e classificou a obra como inviável. Em 1906, o Professor Clodomiro Pereira da Silva, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, defendeu a transposição como meio de assegurar uma oferta regular de águas ao Semi-Árido. O processo concluiu optando pela opção da açudagem e gerou a fase hidráulica.

A fase hidráulica conduzida pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas resultou na construção de um grande número de açudes no Nordeste. Embora a construção de açudes tenha prosseguido até os dias atuais deixou-se de considerar a açudagem isoladamente como "a solução".

A fase ecológica consistiu em uma estratégia de convivência com as secas através de uma agricultura adaptada ao clima da Região. A idéia foi comandada por técnicos do DNOCS, dentre esses merece destaque o nome de Guimarães Duque que condensou seus estudos na obra: Solo e Água no Polígono das Secas. Duque introduziu o discurso da cultura xerófilas, a criação de animais mais adaptados às condições do Semi-Árido e a irrigação dos baixos.

¹⁴ Note-se que o eixo das discussões dava-se nos meios acadêmicos e técnicos do Sul do País. O Nordeste não dispunha de Universidades fortes na área de Tecnologia.

¹⁵ Nesse aspecto é que algumas práticas de solo resultam em seu empobrecimento e podem conduzir ao agravamento das secas.

Na fase do desenvolvimento econômico criaram-se a Companhia Hidroelétrica do Vale do São Francisco (CHESF), a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), o Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Nessa fase o objetivo era: promover a industrialização, estimular produção de alimentos na zona costeira, promover agricultura adaptada à região; promover a colonização. (Magalhães e Glantz op. cit.). Sobre essa fase afirmam consultores da SEPLAN/IICA(1994): " O entendimento que privilegiava as secas como principal problema regional foi substituído pelo diagnóstico do subdesenvolvimento como determinante da economia nordestina às estiagens periódicas"

Atualmente dois novos discursos estão em pauta: o do desenvolvimento sustentável no qual está inserido o Projeto Áridas e o do gerenciamento racional dos recursos hídricos. Essas novas visões nortearam o desenvolvimento do presente trabalho e o estabelecimento das diretrizes.

5.1 Cenário tendencial

No tocante ao cenário tendencial da vulnerabilidade às secas -entendidas nos aspectos hidráulicos - deve-se fazer a análise sob as óticas da seca edáfica e da seca hidrológica.

A seca edáfica:

A frequência de ocorrência de secas edáficas é comandada pelo regime pluvial, nos aspectos quantitativos, de distribuição espacial e temporal; pela capacidade de retenção de umidade dos solos, e pelo tipo de culturas explorada.

Pondo-se à parte os aspectos da variabilidade climática, o regime pluvial pode ser considerado estacionário, não se podendo esperar como consequência dele, uma tendência ao agravamento das secas. Mantido também a qualidade dos solos e os tipos de cultura tradicionais da região na agricultura de inverno, não há porque esperar um agravamento na frequência de secas. A análise do quadro da série histórica das secas, Capítulo 1, corroboram com essa assertiva.

Contudo, a gravidade com que as pessoas são atingidas pelas secas depende mais da vulnerabilidade sócio-econômica dos grupos atingidos do que propriamente do regime de secas. O grupo atingido normalmente são pessoas que não conseguem, nos anos normais e de bom inverno, formar reservas econômicas para enfrentar as secas que fatalmente ocorrem.





A seca hidrológica:

A seca hidrológica, como foi definida, é decorrente da falta de água nos açudes reservatórios durante épocas críticas. Essa seca pode ser gerada por três principais motivos:

1. o sobreuso do reservatório por falta de conhecimentos para gerenciar corretamente suas reais disponibilidades;
2. um risco assumido, estrategicamente, pelo "gerente" do açude, fazendo uso mais rápido das águas reduzindo o volume evaporado; espera-se que o ganho em água seja transformado em reservas econômicas que permitam ultrapassar a época de crise - um mínimo de reserva deve ser mantido para esses períodos.
3. por falta de informações hidrológicas que possibilitassem um correto planejamento.

No Semi-Árido, nos últimos anos houve um aumento da demanda e um lento crescimento na infra-estrutura hidráulica. Além do mais, a coleta de informações hidrológicas no Nordeste também tem sido bastante prejudicada o que dificulta o estabelecimento de um sistema eficiente de gerenciamento das águas.

Pode-se dizer, no que tange a secas hidrológicas que o cenário tendencial é de estabelecimento de novas crises como as que ocorreram em grandes cidades como Fortaleza e Recife em 1993.

5.2 A busca de um cenário desejável

O cenário desejável, no lado da seca hidrológica, dentro dos limites da natureza, é entendido como aquele em que as crises na oferta d'água só ocorrem dentro dos limites planejados e aceitos pela sociedade e para os quais a sociedade está convenientemente preparada. Para que se atinja esse futuro é necessário que haja:

1. mudanças culturais nos hábitos das pessoas; todos têm que ter a convicção da água como um bem econômica a ser preservado e protegido;
2. elevado grau de conhecimento da hidrologia regional para permitir um melhor planejamento do uso das águas e uma antevisão das crises com a preparação da sociedade para enfrentá-la;
3. ampliação da infra-estrutura hidráulica para atendimento das demandas que se implantam rapidamente;

4. manejo dos sistemas hidráulicos em uma visão multidisciplinar; não se pode perder de vista que quantidade e qualidade das águas são indissociáveis- a demanda se dá por uma certa quantidade de água, em um dado tempo, em um certo local e com um desejado padrão de qualidade.

No aspecto seca edáfica

Nesse aspectos poucas medidas têm mostrado uma real eficácia no aumento da produtividade das culturas de inverno de modo a tornar os agricultores menos vulneráveis às secas. As medidas possíveis são:

1. distribuição de sementes selecionadas que aumentam a produtividade nos anos bons e normais;
2. orientação do agricultor sobre a melhor época de efetuar o plantio - esse programa envolve riscos devido a aleatoriedade da ocorrência de chuvas e deve ser melhor analisado;
3. manejo do solo de modo a aumentar sua capacidade de retenção de umidade a nível das raízes;
4. desenvolvimento de culturas de menores ciclos vegetativos diminuindo a frequência das secas.

Muitas dessas práticas vêm sendo praticadas em alguns lugares do Nordeste. Por vezes elas se mostram antieconômicas, por vezes elas resultam em aumentam de produtividade. Contudo, no aspecto geral, as medidas e técnicas disponíveis têm se mostrado insuficiente para que os agricultores gerem um excedente de produção que possam transformar em reservas econômicas para que sejam vencidos as inevitáveis secas onde aquelas medidas são inócuas.

5.3 Desafios ao gerenciamento das águas

Vários são os desafios a serem enfrentados pela sociedade na tarefa de gerenciar as águas do Semi-Árido. Alguns desses desafios são descritos a seguir.

A questão da grande ou pequena açudagem: Desde o início da política da açudagem do Nordeste, debate-se sobre o que é mais recomendável: pequenos ou grandes açudes? Já em 1902 escrevia Phellipe Guerra no Diário de Natal(Guerra P e Guerra T.):

"Examinemos mais detalhadamente as vantagens dos açudes; ficando desde logo claro que não nos referimos aos pequenos açudes que se-





cam nos primeiros meses de verão. Esses, de muito proveito e utilidade para seus donos, nas crises mais prolongadas falham em críticas circunstâncias. São como amigos pouco dedicados: ausentam-se nos grandes perigos."

Em um outro momento (1910) escreve o mesmo autor (Guerra P e Guerra T.): "Uns proclamam que a salvação do Norte do Norte está inteiramente em alguns grandes açudes e outros que maior benefício virá de muitos de muitos pequenos depósitos. Até agora 1910, não há grandes açudes no Norte, e não há meio de julgar definitivamente os seus resultados; dos pequenos açudes há entretanto, dados mais aproveitáveis."

Modernamente, dentro dos atuais conhecimentos sobre o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, o assunto deve ser analisado entendendo-se que pequenos e grandes açudes não são, dentro das devidas dosagens, exclusivos e sim complementares. Cada qual tem seu papel, suas vantagens e desvantagens. Muitas delas já são conhecidas.

- 1) Para fins de regularização interanual os grandes açudes, por terem um fator adimensional de evaporação mais baixos, são mais eficientes que os pequenos açudes;
- 2) os pequenos açudes, localizados próximos às cabeceiras dos rios, são, em geral, incapazes de resistir a secas mais prolongadas; a estes deve caber somente o papel de regularização intra-anual;
- 3) os pequenos açudes constituem-se na única possibilidade do aproveitamento das terras próximas às nascentes dos rios; a eles cabe o papel de distribuidor espacial do recurso água, pagando por isso, entretanto, um alto preço em perdas por evaporação;
- 4) a disseminação descontrolada de açudes de pequeno porte a montante dos grandes açudes resultam em redução da capacidade de regularização dos grandes açudes e muitas vezes na redução da eficiência do sistema como um todo;
- 5) o papel de reservas estratégicas de águas só deve caber aos grandes açudes; a esses devem ser atribuídas regras compatíveis com a segurança que deve ser atribuída a essas obras.

Da participação da sociedade nas decisões

Uma das características das democracias avançadas é a participação do público na tomada de decisões. No Nordeste, como no Brasil em seu todo, essa prática ainda é incipiente e envolve um processo de mudança cultural. A implantação de grandes obras, como o são, em geral, as obras de aproveita-

mento hídrico, normalmente implicam em conflitos de interesses. Esses interesses podem variar desde alguns altruístas até os egoístas.

A condução hábil das discussões públicas tende a gerar melhores projetos e a eliminar problemas que surgem quando o público se defronta com uma decisão já tomada de uma obra que exercerá grandes influência no seu futuro. Não existe obra capaz de captar a unanimidade da opinião pública. Ademais, a imposição, mesmo de bons projetos, nunca é bem aceita por seres livres e pensantes. Ora, um projeto que chega ao público, pronto e acabado, perfeito segundo seus idealizados, gera uma sentimento de projeto imposto. Nessa circunstâncias, realçam-se os pontos negativos, esquecem-se os pontos positivos. Em conseqüência, mesmo um bom projeto, se mal conduzido em termos de participação do público, pode ter seu início bastante retardado ou mesmo ser inviabilizado.

Um exemplo da importância desse processo é o debate, ainda em curso, sobre a transposição de águas do Rio São Francisco para os estados mais secos do Nordeste.

Do estabelecimento de uma rede de observações:

Para gerenciar um recurso natural é necessário conhecê-lo. Em regiões semi-áridas a variabilidade dos deflúvios é maior do em regiões úmidas e sub-úmidas. Como conseqüência, o erro que se comete ao determinar a capacidade de regularização de um açude é maior no semi-árido. Para contrabalançar esse fato seria necessário que as séries de observações dos deflúvios dos rios dessas regiões fossem mais longas que as das regiões úmidas. Por ironia, acontece justamente o contrário. E o pior: a rede de coleta de informações fluviométrica e pluviométrica está involuindo. O estabelecimento de uma rede de coleta de informações é um desafio a vencer. A tentativa de estadualização dessa responsabilidade pode levar a uma lacuna nas observações.

Da interferência entre açudes:

Infelizmente, ainda é prática comum a construção de açudes a montante de outros já existentes sem que se avalie, dentro dos recursos que a hidrologia já dispõe, a interferência entre os dois açudes. Por vezes, se o açude de montante é muito ineficiente hidrologicamente, é possível que sua inserção na bacia hidrográfica venha a aumentar a capacidade de acumulação da bacia porém resulte em reduzir a capacidade de regularização do sistema (soma da regularização dos dois açudes).

Na busca de um bom aproveitamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica é fundamental que a análise sistêmica seja efetuada. Caso contrário, pode-se correr o risco de investir recursos financeiros em uma obra





com efeitos negativos ao sistema.

Da formação de recursos humanos

Não há dúvidas que a formação de técnicos no Nordeste, nas áreas recursos hídricos e linhas de conhecimento afins, evoluiu muito no presente século. Existem dois núcleos forte, com mestrado: um em Fortaleza(na Universidade Federal do Ceará) e outro em Campina Grande na Paraíba(Universidade Federal da Paraíba). Além desses a Universidade Federal de Pernambuco está iniciando um curso de especialização que deve evoluir, brevemente, para um mestrado.

O fortalecimento desses cursos é fundamental para fixação de pesquisadores da Região na Região e o desenvolvimento de linhas de pesquisa para solução de problemas locais.

REFERÊNCIAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1994. "Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental." CABES XVII. ABES. Rio de Janeiro.

Almeida, José Américo, 1994. "A Paraíba e seus problemas" ed. Senado Federal/Fundação Casa José Américo de Almeida. Brasília.

BURNASH, Robert J.C. & FERRAL, R.L. "Generalized hydrologic modeling, key to drought analysis. In: Second International Symposium in Hydrology, 1, Fort Collins, Colorado, 1972, Anais, Fort Collins, Colorado, 1973. 503 p.

Campos, J.N.B, e Lima, H.V.C. "O início do inverno no Estado do Ceará e o dia de São José(19 de março): uma abordagem estatística. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - Recife, PE, Nov 1992p.253-260 Anais vol. 2 335p.

Campos, J.N.B. 1984 "Um critério de seca agrícola e sua aplicação ao estado do Ceará" Boletim de Recursos Hídricos" n. 1 Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ce 1984.

Chang, Lisa H., Hunsaker T. & Draves John D. "Recent Research on effects of climate change on water resources" Water Resources Bulletin. Vo 28 n. 2, American Water Resources Association. April 1992 p.273-286.

Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente. 1987. "Our Common Future". New York: Oxford University Press. 1987. 383pp.

Duque, José Guimarães. "Solo e Água no Polígono das Secas" Coleção Mossoroense Volume CXLII, 1980.

Gleick, Peter H., "Vulnerability of water systems."Capítulo in: P.E. Waggoner (ed.) "Climate Change on U.S Water Resources." New York, Willey, 1990.

Guerra, Phelippe, e Guerra, Theophilo. "Seccas Contra a Secca" Coleção Mossoroense vol. XXIX

Magalhães, A.R. e Glantz, M.H. 1992. "Socioeconomic Impacts of Climate Variations and Policy response in Brazil. United Nations Environment Programme, Secretaria do Planejamento do estado do Ceará e Fundação esquel do Brasil.

MINTER. "Plano integrado para o combate preventivo das secas no Nordeste" Série Desenvolvimento Regional n 1, Brasília, Abril de 1973.





Ministério da
Integração Nacional



Paulino, Francisco de Sousa. "Nordeste, poder e subdesenvolvimento sustentado discurso e prática." Fortaleza: Edições UFC, 1992.

SEPLAN/IICA. "Variabilidade Climática e Planejamento da ação governamental no Nordeste Semi-Árido - Avaliação da seca de 1993. Relatório Final. Brasília 1994.

SOUZA, João Gonçalves de, "O Nordeste Brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional" Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 1979. xxii, 410p.:tab.-

SUDENE, "Análise do Meio Físico e Regionalização" Texto, Vol. 1. "Plano Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil - Fase , Recife, 1980 p. 1-46.





ARIDAS



Ministério da
Integração Nacional

