

## VULNERABILIDADE DE SISTEMAS HÍDRICOS: UM ESTUDO DE CASO

**José Nilson Bezerra Campos**

*Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
nilson@ufc.br*

**João Fernandes Vieira Neto**

*Av. Senador Virgílio Távora, 1701/704  
fone (085) 261 4890*

**Eduardo Sávio Martins**

*Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos  
Av. Bezerra de Menezes, 1900 São Geraldo  
60325-002 Fortaleza – CE  
martins@funceme.br*

---

### RESUMO

*No artigo estimam-se oito indicadores de vulnerabilidade dos sistemas hídricos que abrangem estruturas de fortalecimento do meio contra a ocorrência de secas hidrológicas e climatológicas. Tomou-se como caso estudo as bacias hidrográficas do estado do Ceará. Para estimar os indicadores, o estado foi dividido em onze unidades de planejamento formadas por conjuntos de pequenas bacias hidrográficas ou sub-bacias do rio Jaguaribe. A partir dos indicadores, sugerem-se políticas de fortalecimento das unidades de planejamento para convivência com as secas, ou para a busca de um desenvolvimento sustentável. Foi ainda estudado um Índice de Vulnerabilidade Global, que resume o conjunto dos oito indicadores. O horizonte do estudo foi o ano 2020.*

### COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

O conceito de desenvolvimento sustentável difundiu-se rapidamente em diversas sociedades do mundo após a publicação do relatório Nosso Futuro Comum (1987), elaborado pela Comissão Brundtland. De acordo com o relatório, são três os objetivos do desenvolvimento sustentável:

- desenvolvimento econômico considerando as limitações impostas pela ecologia;

- atendimento às necessidades da presente geração sem comprometer os recursos necessários para as futuras gerações;
- reestruturação das relações entre as nações de modo a se obter uma melhor distribuição de riqueza entre os diferentes povos do mundo.

Contudo, não existe um entendimento unânime desse conceito. Há mesmo uma disputa entre conservacionistas e desenvolvimentistas sobre a sua origem. O certo é que o conceito é por demais abrangente para permitir um entendimento único e universal. A leitura do documento da Comissão Brundtland permite observar que há uma grande preocupação em aumentar os conhecimentos dos processos ambientais e da biosfera de modo a permitir uma melhor previsão dos impactos dos processos antrópicos resultantes do desenvolvimento econômico. Ora, ao admitir uma grande faixa de incerteza na capacidade de previsão desses impactos como então delimitar o limiar entre a sustentabilidade e a insustentabilidade do processo de desenvolvimento? Nesse caso, parece que somente a cautela e a formação de uma cultura conservacionista poderão indicar o caminho do desenvolvimento sustentável. Todavia há um grande mérito no processo: a objeção ao hiperdesenvolvimento que se dava(dá) sem qualquer atenção ao meio ambiente.

Há também um entendimento consensual que a sustentabilidade está relacionada ao meio ambiente – há ambientes mais vulneráveis a determinadas ações antrópicas. Para que se alcance o desenvolvimento sustentável em uma determinada região é necessário que se conheça bem suas potencialidades e vulnerabilidades. Certamente, o desenvolvimento sustentável engloba o uso racional das potencialidades e o fortalecimento dos pontos vulneráveis.

Os estudiosos do Nordeste Semi-Árido concordam, quase que unanimemente, que a escassez e a irregularidade das águas pluviais e fluviais são causas primárias da vulnerabilidade regional. Dessa forma, o entendimento da vulnerabilidade das obras hídricas em regiões semi-áridas, como é o caso do estado do Ceará, constitui-se em importante condição para o desenvolvimento de uma política de desenvolvimento sustentável. Foi dentro dessa ótica que se desenvolveu o presente trabalho. Buscou-se avaliar pontos vulneráveis das estruturas hídricas do Estado com vistas a fornecer subsídios a uma política de gerenciamento de águas.

Deve ser considerado que a limitação do escopo do trabalho aos aspectos quantitativos não implicam que os aspectos qualitativos tenham sido relegados ou esquecidos. De fato, esse estudo foi desenvolvido dentro da sistemática do Projeto ARIDAS – Projeto de Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido elaborado pela Secretaria de Planejamento da Presidência da República no ano de 1995 – no qual um grupo específico tratava dos aspectos ligados à qualidade de águas. (Vieira, 1996)

## CONCEITOS BÁSICOS

### Vulnerabilidade e sustentabilidade

O termo vulnerabilidade denota o lado fraco de um assunto, questão ou sistema, ou ainda, o ponto onde uma pessoa ou sistema podem ser atacados e feridos ou danificados.

Por outro lado, a sustentabilidade significa a capacidade de um sistema manter-se em uma determinada condição. Então, a vulnerabilidade denota o ponto onde a sustentabilidade pode ser comprometida. Concluindo, no presente contexto, vulnerabilidade e sustentabilidade são conceitos correlatos onde frágil sustentabilidade é entendida como vulnerabilidade.

Dentro da filosofia do Projeto ARIDAS, os níveis de vulnerabilidade e sustentabilidade são estimados através de indicadores. Esses indicadores são avaliados na atual situação e projetados dentro de um cenário tendencial para o ano de 2020. Procura-se então definir qual seria o cenário desejável para aquele horizonte e quais as medidas necessárias para redirecionar o cenário tendencial para o cenário desejável.

No Semi-Árido, na ótica dos recursos hídricos, a vulnerabilidade da região tem sido, desde muito, atribuída às secas. Embora não deva ser assumida como causa única e exclusiva da pobreza regional, essa anormalidade climática certamente muito contribui para a fragilidade econômica regional. Torna-se, então, importante um entendimento didático da seca, nos aspectos climatológicos e hidrológicos, para a definição dos indicadores.

### Seca

Segundo Yevjevich (1967), o conceito de seca está intimamente relacionado ao ponto de vista do observador, define Yevjevich: *“No ponto de vista da engenharia, seca é um conjunto de variáveis afetando precipitações, escoamento superficial e armazenamento de água em muitas formas. O economista vê a seca de um ponto de vista inteiramente diferente, o das atividades humanas afetadas. Aos seus olhos existe seca agrícola, seca no suprimento de água, seca envolvendo peixe, vida silvestre e manejo de bacias para enumerar somente*

*poucas. O agrônomo tem um outro ponto de vista fortemente relacionado com as necessidades de água em vários cultivos. Uma seca para tomate, por exemplo, pode não ser para uma cultura de crescimento rápido ou batata.”*

Outros autores abordam essa diversidade de conceitos como Thomas, citado por Hershfield (1973). Argumentam eles que uma seca climatológica difere de uma seca agrícola e ambas são distintas de uma seca hidrológica. Para eles a seca meteorológica é definida como uma prolongada e anormal deficiência de umidade. A seca agrícola é definida como a exaustão da umidade do solo de forma a reduzir consideravelmente a produção das culturas. Por sua vez a seca hidrológica é definida como um período durante o qual o suprimento da água é menor que o mínimo necessário para a operação normal de uma determinada região.

Diante da diversidade conceitual, utilizam-se três conceitos de secas: a climatológica que ocorre quando a pluviosidade é baixa em relação às normais da região; a hidrológica, quando a deficiência ocorre nos estoques de água de açudes e a edáfica quando a deficiência de umidade se dá no solo (equivalente da seca agrícola definida por Thomas (op.cit.)). Os conceitos de seca edáfica e seca hidrológica foram definidos para ajustar-se aos conceitos dos potenciais hidráulicos de uma região, propostos pela SUDENE (1967) descritos a seguir.

### **O balanço hídrico de uma região**

O total das águas precipitadas em uma determinada região constitui o potencial hídrico desta região. No Nordeste brasileiro esse potencial é proveniente, quase que exclusivamente, das precipitações pluviais. Para um balanço hídrico desse potencial admite-se uma região fechada, alimentada unicamente pela chuva. O volume total precipitado na região, denotado por P, se

distribui em duas partes, denominadas de: potencial hídrico localizado e potencial hidráulico móvel. (SUDENE, 1967)

#### **O potencial hidráulico localizado –**

Consiste na parte da precipitação que fica retida no local onde se dá a precipitação. Essas águas, que não podem ser transferidas para outra parte da bacia, são formadas por duas partes:

- a parte que fica retida nas depressões dos solos e em vegetais, que é evaporada em um curto intervalo de tempo após a ocorrência das chuvas – essas águas, denotadas por  $ES_L$ , por terem breve permanência são de pouco uso pela sociedade;
- a parte das águas infiltradas, retidas nas camadas superficiais do solo, que pode ser explorada pelo sistema radicular dos vegetais através do fenômeno da evapotranspiração – essas águas, denotadas por  $ET_L$ , são utilizadas pela sociedade através da agricultura de “inverno”.

#### **O potencial hidráulico móvel –**

Consiste na parte da precipitação pluvial que se desloca ao longo da bacia e pode ser transferida, pelo homem, para uso em local diverso de onde se der a precipitação. Essas águas são formadas por duas partes:

- o escoamento superficial, formador do escoamento fluvial, denotado por  $EF_M$ , que é utilizado pela sociedade após armazenados nos reservatórios superficiais ou açudes.
- o escoamento subterrâneo, formador do lençol freático ou outras reservas subterrâneas. Essas águas, denotadas por  $ES_M$ , podem ser usadas pela sociedade através da construção de poços profundos.

Dessa forma, o balanço hídrico de uma região pode ser representado pela equação

$$P = (ET_L + ES_L) + (EF_M + ES_M) \quad (1)$$

Como foi definido, a soma dos dois primeiros termos do lado direito da equação representa o potencial hidráulico localizado e os dois últimos representam o potencial hidráulico móvel.

### **A seca no potencial hidráulico localizado: seca edáfica**

As águas precipitadas, que ficam retidas nas camadas superficiais do solo, resultam em um período de umidade em que os vegetais podem utilizá-las através da sucção pelas raízes. É a duração desse ciclo de umidade que irá determinar a potencialidade do local à exploração de culturas de “inverno”. Quando o período de disponibilidade de umidade no solo é mais longo que a duração do ciclo vegetativo da cultura plantada, há condições favoráveis à ocorrência de uma boa safra. Em caso contrário, ocorre a seca. Então a seca edáfica deve ser entendida como uma deficiência na distribuição temporal ou no total das chuvas, que resulta em período de umidade no solo insuficiente para completar o ciclo vegetativo da cultura.

### **A seca no potencial hidráulico móvel: seca hidrológica**

Os rios, segundo 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 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 limitam-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 reservatórios superficiais plurianuais permitem o atendimento de demandas 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 previstos quando do estabelecimento das regras de operação dos reservatórios.

Os rios efêmeros, por sua pequena importância, não permitem que se estabeleçam demandas importantes em suas margens. A ocupação dessas áreas com atividades consumidoras de água só encontra racionalidade econômica nos casos em que haja um potencial de solos que justifique a importação de água de bacias vizinhas. Nessas regiões, a seca passa a ser uma condição crônica (anual).

### **Divisão do estado em unidades de planejamento (UP's)**

Antes de serem apresentados conceitos de vulnerabilidade e os indicadores aqui escolhidos para caracterizá-los, torna-se necessária a divisão do Estado em áreas para a definição de políticas diferenciadas conforme a vulnerabilidade de cada uma delas. Nesse texto adotaram-se onze unidades de planejamento, (denotadas por UP's) através de uma relação bi-unívoca com as onze regiões hidrográficas do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará-PERH – Doravante nesse texto essa publicação será referenciada como PERH, nome pelo qual é conhecido – (SRH, 1992) (Figura 1).

### Insuficiência na capacidade de armazenamento: S/Q



Figura 1. Divisão do estado do Ceará em unidade de planejamento (fonte: PERH. 1990).

### INDICADORES DE VULNERABILIDADE

Adotaram-se oito indicadores de vulnerabilidade, sendo que sete referem-se ao potencial hidráulico móvel, enquanto que apenas um diz respeito ao potencial hidráulico localizado, a saber: (i) insuficiência na capacidade de armazenamento; (ii) crescimento na demanda por água; (iii) sobre-exploração de águas subterrâneas; (iv) variabilidade interanual dos deflúvios anuais; atendimento às demandas no (v) ano normal, e no (vi) ano seco; (vii) suscetibilidade do atendimento às secas, e, finalmente, (viii) insuficiente duração do ciclo contínuo de umidade. Estes indicadores são descritos a seguir, juntamente com os seus patamares.

Este indicador, razão entre a capacidade de acumulação total de água nos reservatórios da UP e o volume afluente médio anual, estima a vulnerabilidade da UP frente às secas hidrológicas prolongadas. Quanto maior for seu valor maior será a possibilidade de uma dada região atravessar um período de seca, sendo que os pequenos açudes contribuem muito pouco na redução da vulnerabilidade às secas mais prolongadas. Gleick (1990), adotou para a bacia do Rio Grande (EUA) o valor de 0,60 com limite do ponto crítico. Todavia, esse número não reflete a prática no Semi-Árido Nordeste. Nessa Região, durante muito tempo, a prática foi de projetar reservatórios com capacidade de acumular duas vezes o volume afluente anual. Dessa forma, nas bacias hidrográficas onde o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) atua de forma intensiva, uma relação, igual a dois, entre o volume acumulável em açudes e o volume de escoamento médio anual, tornou-se uma referência. (Regionalmente conhecida como a regra do 2 V-A)

Dentro dessa lógica, admitiu-se que valores desta relação menores que 1,5 indicam um baixo uso do potencial de acumulação, e valores entre 1,5 e 2,5 indicam um bom uso deste potencial, enquanto que valores maiores que 2,5 indicam que a capacidade de reserva da bacia está próxima à exaustão.

### Crescimento na demanda por água: D/Q

O uso consuntivo (demanda humana, animal, de irrigação e industrial) dividido pelo volume afluente médio anual da UP resulta neste indicador, identificando assim as UP's mais suscetíveis às secas. Um ponto chave aqui é a determinação do valor crítico desta relação. Gleick (1990), propôs para a Região da Bacia do Rio Grande no Texas um valor de 0,20 como indicador do ponto crítico.

Considerando que o Semi-Árido Nordestino, por sua baixa latitude, tem um potencial de evaporação e evapotranspiração bem maior que o Texas, adotou-se no presente trabalho como crítica a relação:  $D/Q \geq 0,10$ .

### **Sobre exploração das reservas subterrâneas: Go/Gw**

O Estado do Ceará, com 75% de sua área no cristalino (SRH, 1992), tem em pequenas regiões sedimentares a água subterrânea como principal fonte de atendimento às necessidades humanas. A sobre-exploração deste recurso pode ser identificada pela divisão entre a retirada (Go) e o potencial explorável (Gw) de águas subterrâneas em cada UP. O PERH adotou o potencial explorável como sendo igual ao volume médio de renovação das reservas subterrâneas de um dado aquífero. Seguindo a filosofia do trabalho, os valores de Go/Gw foram agrupados para a UP a partir das unidades adotadas no PERH. Deve-se ressaltar que dentro de cada uma destas UP's existem diferentes unidades litológicas com valores distintos de Go/Gw. Para as bacias que não fazem parte do Jaguaribe, a retirada foi estimada a partir do banco de dados de poços existente, uma vez que o relatório do PERH fez a divisão espacial por aquífero.

Valores de  $Go/Gw \leq 1$  indicam uma situação adequada na exploração das reservas subterrâneas, enquanto que para  $1 < Go/Gw \leq 2$  tem-se uma sobre-exploração destes recursos. Foi ainda considerado que valores de  $Go/Gw > 2$  representam uma sobre-exploração crítica das águas subterrâneas.

### **Coefficiente de variação dos deflúvios anuais: CV**

A variabilidade interanual dos volumes afluentes dos reservatórios, medida através do coeficiente de variação (CV), desempenha papel primordial importância na eficiência do processo de estocagem de águas. Valores

elevados do CV implicam em reservatório com menores eficiências de regularização. No estado do Ceará, os rios apresentam valores para o CV variando de 0,6 a 1,6. Dessa forma, tendo em conta o caráter regional do indicador adotou-se que  $CV \geq 1$  que pressupõe a necessidade de uma capacidade do reservatório para uma mesma capacidade de regularização. Valores de  $CV < 1$  indica a necessidade de menores reservatórios.

### **Atendimento às demandas nos anos normais: AN**

Segundo os padrões do PERH, são definidos como anos normais aqueles nos quais os reservatórios podem suprir uma vazão igual à vazão regularizada, o escoamento fluvial ocorre com valor igual à média e não há restrições na captação de águas a partir do aquífero aluvial. O PERH determinou a nível de pequenas unidades espaciais denominadas unidades de balanço, a capacidade do sistema hídrico existente atender as demandas locais. No presente trabalho os valores do PERH foram agregados em valores médios para as UP's. Esse indicador reflete a capacidade do atendimento das demandas através dos recursos hídricos mobilizados na própria UP.

Para este indicador, o PERH adotou a seguinte classificação: 0-30% ruim; 30-50% insuficiente; 50-70% regular; 70-90% bom e 90-100% ótimo. No presente estudo considerou-se, como condição crítica, um atendimento de menos de 70% da demanda em um ano normal.

### **Atendimento às demandas nos anos secos: AS**

O PERH define como anos secos aqueles nos quais os reservatórios estão com volume na reserva de emergência fornecendo somente metade da vazão regularizada, os deflúvios naturais dos rios são nulos e os aquíferos aluviais não atendem a demanda difusa. Assim como o indicador anterior, o

valor de AS para a UP foi calculado pela média dos AS's das unidades de balanço que formam a UP. O indicador retrata a fragilidade dos sistemas hídricos de cada UP nos anos secos.

Para este indicador adotou-se a seguinte classificação: 0-30% ruim; 30-50% insuficiente; 50-70% regular; 70-100% bom. Foram consideradas críticas as Ups que atendem menos de 70% da demanda em anos secos.

### **Sustentabilidade dos atendimentos nas secas: AS/AN**

A razão AS/AN foi adotada como indicador da sensibilidade do sistema hídrico existente, em cada UP, à ocorrência de secas. Em outras palavras, o indicador deve retratar o grau de racionamento a que a UP deve ser submetida nos anos secos. Quando o valor desse indicador é muito baixo, significa que a região é altamente sensível à ocorrência de secas ou, em outras palavras, a região carece de reservas hídricas perenes.

Adotaram-se os seguintes patamares: 0-0,10 péssimo; 0,10-0,30 insuficiente; 0,30-0,50 regular; > 0,50 bom, tendo-se como valor crítico 0,50 ( $AS/AN \leq 0,50$ ).

### **Capacidade de manter culturas de inverno: IU**

Durante um ano hidrológico, o solo de uma dada região alterna períodos com e sem umidade disponível nas camadas superiores do solo. A capacidade da região em produzir culturas de inverno está relacionada com o tempo em que o solo mantém continuamente umidade à disposição das culturas. Um estimador do ciclo anual de umidade do solo foi proposto por Campos (1983). Esse estimador foi obtido a partir do balanço hídrico no solo, a nível diário, em 41 estações localizadas no Ceará, todas com mais de 30 anos de registros de chuvas. Adotou-se no presente trabalho como indicador da capacidade da UP de manter culturas de

inverno a razão entre o ciclo máximo anual contínuo de umidade, em dias, e a duração média de um ciclo vegetativo das culturas regionais (125 dias). Esse indicador procura retratar a vulnerabilidade da UP à ocorrência de secas climatológicas, insuficiência ou má distribuição das precipitações pluviais.

Para este indicador foi considerado crítico o valor de 1, que estima que nos anos médios a região tem capacidade de produzir culturas de ciclo vegetativo inferior a 125 dias.

### **O índice de vulnerabilidade global (IVG)**

Para uma hierarquia de vulnerabilidade das diversas UP's, definiu-se o índice de vulnerabilidade global (IVG) que sintetiza, em cada unidade os oito indicadores. O IVG é estimado pelo número de indicadores nos quais a UP foi considerada como crítica dividido pelo número total de indicadores (oito). Dessa forma, uma UP com IVG igual a um significaria que a região é crítica em todos os oito indicadores. Uma UP com IVG nulo indicaria total sustentabilidade.

## **RESULTADOS**

Os resultados do cálculo dos indicadores para as UP's podem ser observadas em forma gráfica nas Figuras 2 a 9 e na Tabela 1, que realça os valores críticos para cada UP.

Pela análise dos resultados obtidos, pode-se observar que, em termos de vulnerabilidade, as UP's podem ser classificadas globalmente dividindo-se o número de indicadores críticos de cada bacia pelo número total de indicadores (8). Quanto mais próximo de 1,00, mais vulnerável a UP. Os resultados constam na Tabela 2 e Figuras 2 a 9.

Observe-se que alguns indicadores refletem apenas o comportamento hidrológico esperado para 2020. Deve-se levar em conta durante a definição de políticas de enfrentamento o conhecimento da região, e a sua capacidade de reverter o indicador. Por

exemplo, uma bacia com indicador S/Q baixo pode não permitir, por condicionantes topográficos, a construção de novos açudes.

**Tabela 1. Indicadores de vulnerabilidade para as diferentes UP's.**

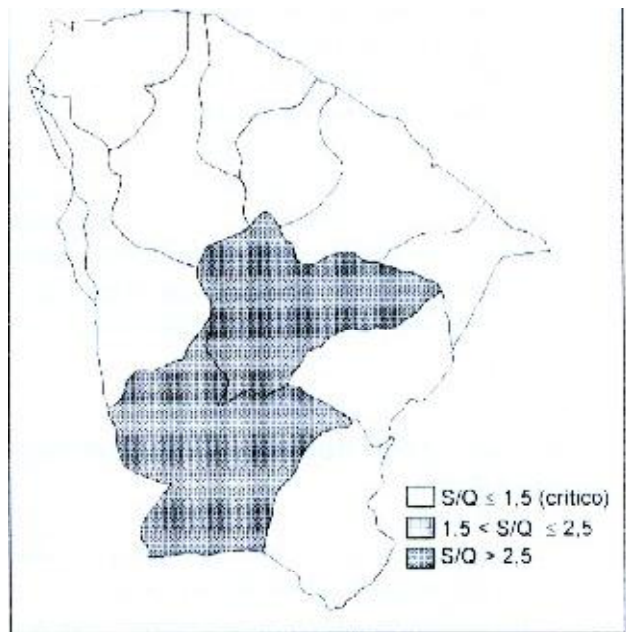
UP	S/Q	D/Q	Go/ Gw	CV	AN	AS	AS/ AN	Iu
I	2,12	0,20	1,13	1,26	35,6	10,4	0,29	0,89
II	0,36	0,30	10,58	1,33	43,2	10,8	0,25	1,10
III	2,29	0,66	1,20	1,32	98,4	54,8	0,56	0,89
IV	1,19	0,09	0,33	1,40	75,7	59,7	0,79	0,89
V	0,73	0,24	7,17	1,10	34,9	1,80	0,05	1,10
VI	0,67	0,16	0,07	1,10	95,8	55,8	0,58	1,10
VII	0,04	0,07	0,33	1,05	40,4	7,4	0,18	1,30
VIII	0,86	0,17	0,51	1,20	93,3	70,4	0,75	1,10
IX	0,39	0,05	1,28	1,30	67,4	36,2	0,54	0,89
X	0,46	0,12	4,21	0,73	57,1	26,8	0,47	1,30
XI	0,51	0,08	0,28	1,08	83,8	52,8	0,63	1,30

Os indicadores acima foram estimados com base nos dados do PERH

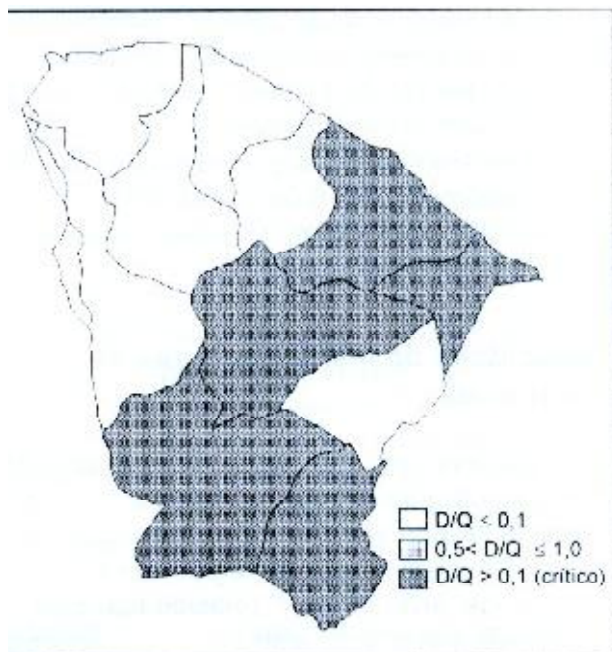
Valor considerado crítico (vulnerável)

**Tabela 2. Valores dos índices de vulnerabilidade global no estado do Ceará.**

UP	BACIA	Número de Indicadores Críticos	IGV (NIC/8)
I	Alto Jaguaribe	7	0,88
II	Salgado	7	0,88
III	Banabuiu	4	0,50
IV	Médio Jaguaribe	3	0,38
V	Baixo Jaguaribe	7	0,88
VI	Acaraú	3	0,38
VII	Coreaú	4	0,50
VIII	Curu	3	0,38
IX	Poti	5	0,63
X	Metropolitanas	6	0,75
XI	Litoral	2	0,25



**Figura 2. Índice de vulnerabilidade/sustentabilidade - insuficiência na capacidade de armazenamento.**



**Figura 3. Índices de vulnerabilidade/sustentabilidade - crescimento na demanda por água.**

## POLÍTICAS DE ENFRENTAMENTO

A definição de políticas de enfrentamento para reverter o quadro de não sustentabilidade para o horizonte 2020 será



feita por bacia, considerando os resultados da Tabela 1 e do IGV.

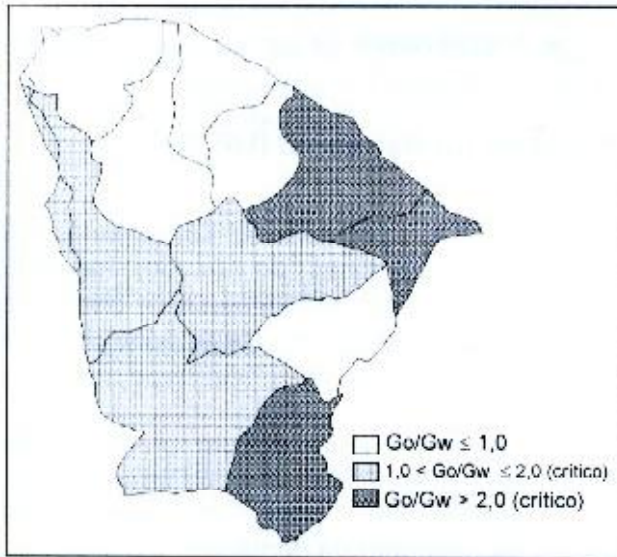


Figura 4. Índices de vulnerabilidade/sustentabilidade - sobre-exploração das reservas subterrâneas.

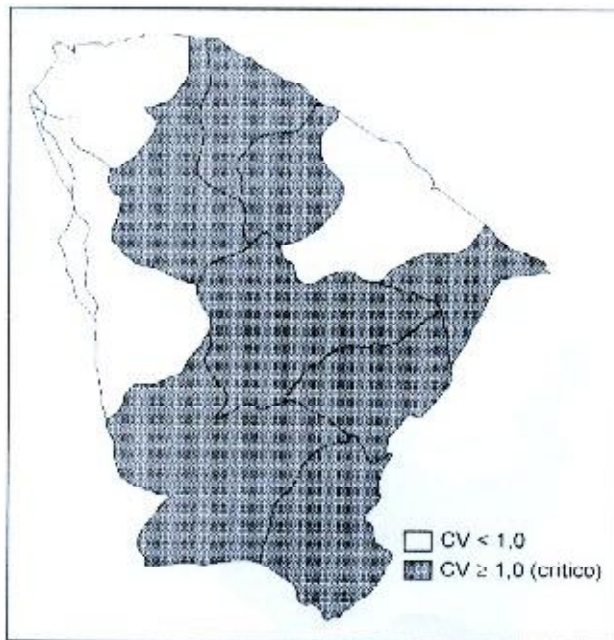


Figura 5. Índices de vulnerabilidade/sustentabilidade - variabilidade interanual dos deflúvios anuais.

### Bacia do alto Jaguaribe (UP I)

A bacia do Alto Jaguaribe, apesar de apresentar valores de S/Q não crítico, possui grande necessidade de açudes interanuais. O

valor normal de S/Q foi obtido graças à presença do açude Orós, que está localizado no limite da bacia com o Médio Jaguaribe, não beneficiando praticamente o Alto Jaguaribe. Observe-se ainda que apesar do valor de S/Q, essa UP apresenta um dos maiores índices de vulnerabilidade global. Indicam-se as seguintes políticas:

- política de açudagem no alto vale com o cuidado de estudar a interferência com o Orós;
- definir melhores técnicas de gerenciamento das águas com vistas ao fator D/Q;
- há indícios de sobre-exploração dos aquíferos (Go/Gw crítico) o que sinaliza a necessidade do estabelecimento de um programa de monitoramento;
- realizar estudos de atendimento à demanda em anos normais e anos secos (baixos valores de AN, AS).

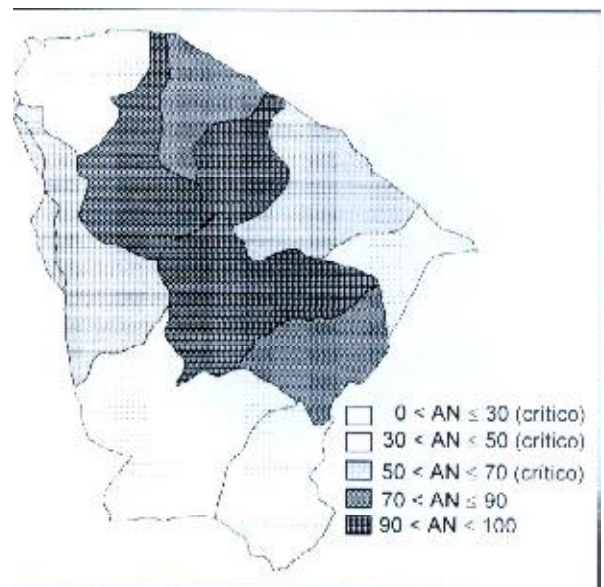


Figura 6. Índice de vulnerabilidade/sustentabilidade - atendimento às demandas em anos normais.

### Bacia do Salgado (UP II)

Esta bacia necessitará, basicamente, das seguintes políticas de enfrentamento das vulnerabilidades:

- construção de açudes para preenchimento dos vazios hídricos, aumentando a relação S/Q que é muito baixa;

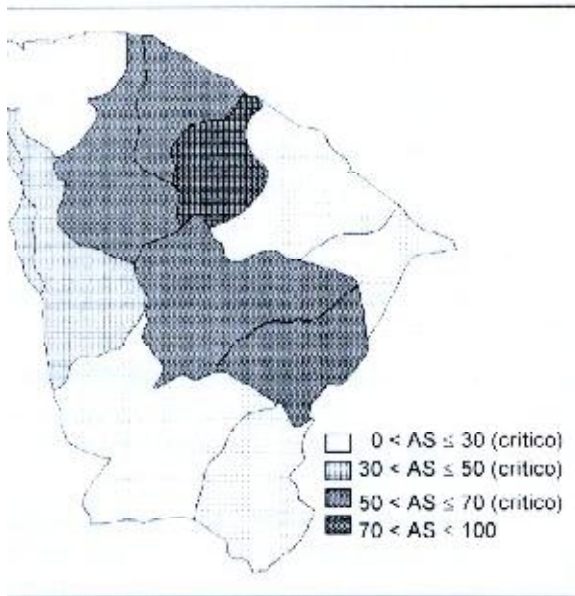


Figura 7. Índices de vulnerabilidade/sustentabilidade - atendimento às demandas em anos secos.

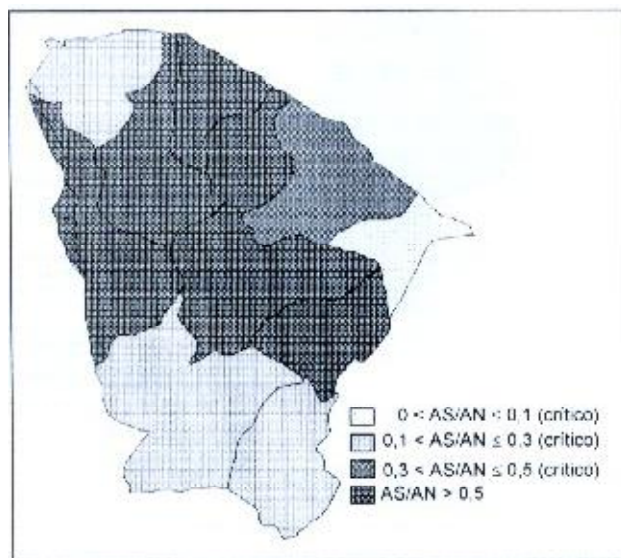


Figura 8. Índices de vulnerabilidade/sustentabilidade - sustentabilidade do atendimento às secas.

- gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com transferência de demandas atualmente atendidas por águas subterrâneas para serem atendidas por açudes (alto

Go/GW). A construção de adutoras que permitam essa transferência se mostra necessária;

- transferência de água de outras bacias.

### Bacia do rio Banabuiu (UP III)

Esta UP apresenta-se como uma das bacias menos críticas do estado, havendo entretanto um baixo atendimento da demanda estabelecida. Indicam-se para essa UP as seguintes políticas:

- estabelecimento de um programa de gerenciamento visando uma melhor convivência com as crises de atendimento da demanda;
- estabelecimento de um programa de monitoramento dos usos das águas subterrâneas – examinar os dados relativos ao indicador Go/Gw;
- os valores críticos de CV e lu indicam pela busca de uma melhor política de gerenciamento.

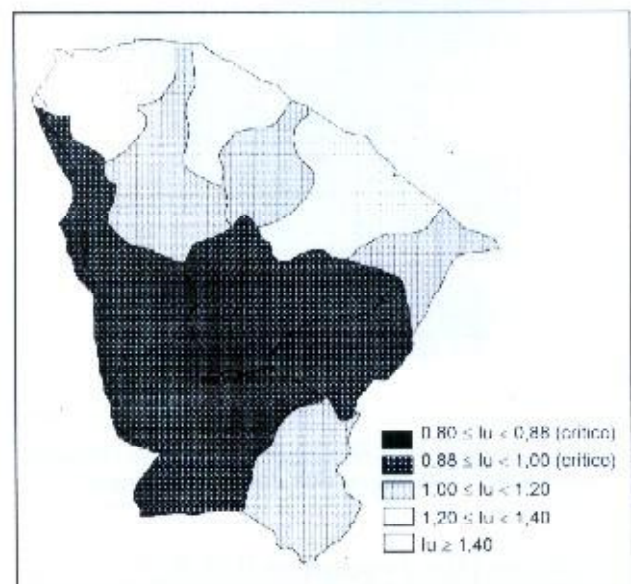


Figura 9. Índice de vulnerabilidade/sustentabilidade baseado no conceito de CMACU-Ciclo Máximo Anual Contínuo de Umidade do Solo (CAMPOS, 1983).

### Bacia do médio Jaguaribe (UP IV)

A bacia do Médio Jaguaribe possui um indicador global baixo, de 0,38. Alguns indicadores específicos, no entanto, mostram a necessidade de políticas setoriais, tais como:

- construção de açudes, que deverá incluir o Castanhão, elevando o valor de S/Q, que está baixo;
- gerenciamento otimizado dos recursos superficiais, pois o valor de CV é bastante elevado;
- utilização de fontes hídricas mais permanentes, para melhoria do grau de atendimento às demandas no ano seco.

### Bacia do baixo Jaguaribe (UP V)

Das unidades analisadas, a UP V é uma das que possui maior IVG (0,88) necessitando, em consequência de maiores ações. Observe-se que essa UP, por ser mais a jusante do vale do Jaguaribe pode ser beneficiada, dentro de uma política global, por todo os excedentes em água das bacias de montante. Recomendam-se:

- a construção de açudes nos afluentes do Jaguaribe, principalmente o Açude Figueiredo no rio Figueiredo;
- a construção do açude Castanhão (já iniciada);
- estudar a possibilidade dessa UP receber águas de outras bacias – por transposição – como o São Francisco;
- aprofundar os estudos de Go/Gw que podem estar sendo superestimados devido ao uso de águas subterrâneas das aluviões do rio Jaguaribe que, na verdade, são realimentadas pelas águas superficiais liberadas pelos açudes do médio e alto vale.

### Bacia do Acaraú (UP VI)

A bacia do Acaraú possui um baixo indicador global (0,38). De fato, os índices que possuem valores críticos são de fácil enfrentamento. Recomendam-se:

- estabelecimento de uma política de construção de novos açudes, o que irá auxiliar no convívio com o regime irregular dos deflúvios (CV alto);
- para atender a demanda (D/Q crítico) recomenda-se um programa de melhoramento das técnicas de gerenciamento dos estoques de água acumulados nos reservatórios.

### Bacia do Coreaú (UP VII)

Reconhecida como a bacia hidrográfica cearense com menor intervenção em açudagem, essa situação é confirmada pelo insignificante índice S/Q, de 0,04 e o menor valor de índice de sustentabilidade dos atendimentos nas secas. Seus indicadores críticos levam às seguintes políticas de enfrentamento das vulnerabilidades:

- intervenção maciça no nível de açudagem, com a construção de médios e dos grandes açudes programados;
- gestão racional dos recursos superficiais a serem acumulados.
- exploração de fontes hídricas permanentes, para dar sustentabilidade ao consumo durante as secas, pois o indicador AS/AN é muito baixo (0,14).

### Bacia do Curu (UP VIII)

Reconhecida como a bacia cearense de nível de açudagem próximo da saturação, de acordo com as condições topográficas da bacia, deve possuir uma política inteiramente voltada à gestão dos recursos existentes, para enfrentar os elevados indicadores D/Q (0,17) e CV (1,20). Recomendam-se:

- estabelecimento urgente de uma política de gerenciamento das águas visando um aumento da eficiência – essa UP tem pouquíssimas possibilidades de aumento dos reservatórios superficiais;
- Estudar melhor os recursos em águas subterrâneas na formação barreira.

### Bacia do Poti (UP IX)

Recomendam-se para essa UP as seguintes políticas:

- construção de açudes, pois o valor de S/Q é baixo (0,39);
- racionalização do uso das águas subterrâneas, para dar sustentabilidade ao indicador Go/Gw.

### Bacias metropolitanas (UP X)

As bacias metropolitanas possuem um índice de açudagem ainda baixo, retratado pelo indicador S/Q (0,46). Devem, por isso, ser submetidas a um programa de estudos para localização de locais barráveis. Essa bacia apresenta como peculiaridade conter o coração econômico do estado, requerendo, dessa forma maior garantia no fornecimento de água. Recomendam-se:

- estudo de transposições de outras bacias – demanda crescente com poucas possibilidades de construção de novos reservatórios;
- racionalização do uso das águas subterrâneas, para dar sustentabilidade ao indicador Go/Gw;
- estabelecimento de novos métodos de gerenciamento.

### Bacias do litoral (UP XI)

As bacias do litoral, face aos altos índices pluviométricos e aos baixos valores de demandas a serem supridas, possuem um indicador global baixo, de 0,25, o menor entre todas as bacias.

Os indicadores responsáveis por isso são S/Q, que possui pouca possibilidade de ser alterado pelas condições físicas do litoral para a construção de açudes e CV, que pode ter sua influência diminuída com uma boa gestão.

- Estudar possibilidade da construção de novos açudes – há poucas condições geomorfológicas;
- racionalização do uso das águas subterrâneas, para dar sustentabilidade ao indicador Go/Gw.

## CONCLUSÕES

O estudo mostrou que no geral as bacias do estado do Ceará apresentam-se críticas com respeito ao atendimento das demandas. Observa-se que, no geral, algumas políticas devem predominar, como:

- i. continuação da política de açudagem tendo-se o cuidado de examinar o impacto com a rede de açudagem existente – o indicador S/Q apresentou-se crítico em nove das onze bacias estudadas;
- ii. aumentar a eficiência do gerenciamento das águas para atendimento da demanda – o indicador D/Q crítico em sete das onze UP's estudadas;
- iii. o uso das águas subterrâneas já sinalizam pela necessidade de um programa de monitoramento dos aquíferos – Go/Gw mostrou-se crítico em seis UP's;
- iv. o Estado é altamente desfavorecido pela alta variabilidade dos deflúvios anuais que indicam em inevitáveis perdas pelo aumento do tempo de oportunidade de evaporação nos açudes;
- v. o atendimento às demandas estabelecidas, em anos normais e secos, é geralmente baixo resultando em conflitos que apontam para a

necessidade de um modelo mais eficiente de gerenciamento;

- vi. no que se refere ao indicador de seca edáfica, dentro dos padrões locais, a parte crítica como seria de esperar, concentra-se nas bacias do interior como: alto e médio Jaguaribe, Banabuiu e Alto Poti.

## REFERÊNCIAS

- CAMPOS, J.N.B. Um critério de seca agrícola e sua aplicação ao Estado do Ceará, In: Boletim Técnico de Recursos Hídricos, n. 1, Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1983
- CAMPOS, J.N.B., Vulnerabilidade do Semi-Árido às secas sob o ponto de vista dos recursos hídricos. In: PROJETO ARIDAS \_RH SEPLAN/PR, Brasília DF, 1995.
- GLEICK, Peter H., "Vulnerability of water systems. In: WAGGONER, P.E. (ed.) "Climate Change on U.S. Water Resources." New York: J. Willey, 1990.
- HERSHFIELD, D.L. Some measures in Agricultural drought. In: Second International Symposium in Hydrology., 1, Fort Collins, Colorado, E.U.A., 1972, Anais... Fort Collins, Colorado, 1973-491-502p.
- SILVA, C.P.(1906) O problema das secas no Nordeste Brasileiro, São Paulo, 1906.
- SOUZA, J.G., O Nordeste Brasileiro: Uma experiência de desenvolvimento regional. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil, p.89.
- SUDENE, Grupo do Vale do Jaguaribe. "Política das Águas": Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe, vol. 8, Recife, 1967.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, Our common future, New York: Oxford University Press, 1987.
- VIEIRA, VICENTE de P.P.B *Recursos Hídricos e o desenvolvimento sustentável do Semi-Árido Nordeste* Associação Brasileira de Recursos Hídricos –vol. 1,n.1 São Paulo:ABRH 1996. p.91-107.
- YEVJEVICH, V. *An objective approach to definitions and investigations of continental, hydrological drought, Hydrology Paper n° 23*, Colorado State University, Fort Collins, 1967.

## ***Vulnerabilities of Water Systems: a Case Study***

### **ABSTRACT**

*The paper presents eight indicators of water systems vulnerabilities at Ceara State in Brazil's Northeast. These water systems involves the structures used to protect the region against the droughts. To estimate the indicators, Ceará State was divided in eleven planning units composed by a set of small basins or sub-basins of Jaguaribe River Basin. The indicators were used to suggest policies for a sustainable development for the whole State. The eight vulnerabilities indicators were lumped in an Indicator Global of Vulnerabilities (IGV). The horizon year of the study is the year 2020.*