

## ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE AGRO-HIDROMETEOROLÓGICA NO ESTADO DO CEARÁ

JOSÉ M. BRABO ALVES<sup>1,2</sup> ; JOSÉ NILSON B. CAMPOS<sup>1,2</sup> e VICENTE DE P. B. VIEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundação Cearense Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME  
Av. Rui Barbosa, 1246, CEP.60.115-221- Fortaleza-CE.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
Campus do Pici – Fortaleza-Ce. – 60.451-970 – Caixa Postal 6028 – Agência Pici.

brabo@funceme.br,  
nilson@ufc.br, vieira@ufc.br

Recebido Agosto 2005 - Aceito Julho 2007

### RESUMO

Esse artigo apresenta uma análise sobre o conceito de sustentabilidade e sugere índices para variáveis agro-hidrometeorológicas no Estado do Ceará. As variáveis analisadas foram totais anuais médios de precipitação no Estado, de vazões afluentes nos açudes que abastecem Fortaleza e Açude Orós, e totais anuais de produção e rendimento de grãos (milho e feijão). Os resultados mostraram que os índices de sustentabilidade em todas as variáveis, de acordo com a metodologia usada, são fortemente dependentes do fator de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade dessas variáveis ao longo dos anos, principalmente nas variáveis agrícolas. A vulnerabilidade e confiabilidade, em geral, estão fora de fase com a sustentabilidade. Maiores índices de sustentabilidade foram observados para produção de feijão, e precipitação e menores vazão afluente para os açudes da região Metropolitana de Fortaleza e produção de milho. Entretanto, análises de índices decadais de sustentabilidade dessas variáveis mostraram uma redução da magnitude dessas variáveis com tempo. Os resultados mostraram, também, que a sustentabilidade de todas as variáveis, mais evidente nas variáveis agrícolas são dependentes da grande variabilidade climática da região Nordeste. Novos estudos são necessários para avaliar qual limiar desses índices de sustentabilidade e seus parâmetros definidores estão associados com melhores (piores) condições de bem estar social e econômico no Estado do Ceará.

**Palavras -chave** - Sustentabilidade, vulnerabilidade, resiliência

### ABSTRACT: ANALYSIS OF SUSTAINABILITY AGRO-HYDROMETEOROLOGY IN THE STATE OF THE CEARÁ

This article presents an analysis over concept of sustainability and suggests indexes to agro-hydrometeorology variables in the State of the Ceará. The analyzed variables had been total annuals average precipitation in the State, of affluent outflows in the dams that supply Fortaleza and Orós Dam and annual totals annuals of production and yield of grains (maize and beans). The results had shown that the indices of sustainability in all the variables, in accordance with the used methodology, are strong dependents of the factor of confiability, resilience and vulnerability of these variables throughout the years, principally agriculture variables. The vulnerability and confiability in general are out phase with the sustainability. Bigger indices of sustainability had been observed for beans production, yield and precipitation and minors to affluent outflow for dams of the region Metropolitan of Fortaleza and maize production. However, analysis of decadal indices of sustainability of these variables had shown a reduction of the magnitude of these variables with time. The results had shown, also, that the sustainability of all the variables, more evident in the agricultural variables is dependents of the great climatic variability of the Northeast region. New studies are necessary to evaluate which threshold of these indices of sustainable and its defining parameters are associates with better (worse) conditions of welfare state and economic in the State of the Ceará.

**Key-Words:** Reliability, vulnerability, resilience, agricultural variables.

## 1 - INTRODUÇÃO

Atividades que demandam suprimento de água no Nordeste do Brasil (NEB) têm forte dependência da variabilidade climática interanual. Abastecimento humano e animal de água e a produtividade e produção de grãos, em particular do milho e feijão, estão relacionadas diretamente com esta variação climática tropical, característica de eventos de El Niño, La Niña e dipolos de TSM no Atlântico Tropical (Alves et al. 1998; Alves e Campos, 2006). Vale mencionar que, os impactos sociais e econômicos, causados por suas variabilidades afetam um grande contingente populacional no Estado (Magalhães e Neto, 1991).

O conceito de quão sustentável no tempo é uma atividade, advém da economia e teve sua expansão para as áreas das geociências e ciências correlatas com a preocupação da sociedade face às questões ambientais emergentes (Biswas, 1996).

A partir da metade do século XX a sociedade mundial deixou de se preocupar apenas com a produção de massa e fins lucrativos, dando uma ênfase maior ao meio ambiente. Alguns fatos históricos foram marcantes para que a sociedade percebesse essa preocupação. O primeiro deles foi a crise econômica de 1929 (Biswas, 1996), e culminou com o lançamento das bombas atômicas da segunda guerra mundial (Biswas et al., 1993). Essas evidenciaram que a humanidade havia adquirido condições econômicas e conhecimento científico e tecnológico que poderiam por fim a dar existência do planeta (Biswas, 1996). Por último, a ida do homem à lua que acelerou um processo de informação (mídia) que alertou a sociedade a respeito dessas questões, em particular no sentido de que o planeta terra e seus ecossistemas não deveriam ser usados como depósitos.

Nos anos 70 algumas reuniões e acordos internacionais começaram a normatizar e colocar critérios e diretrizes para que os países pudessem direcionar suas atividades e seus desenvolvimentos sem perder a idéia de sustentabilidade do meio ambiente. Entre essas reuniões citam-se: Founex, 1971 (Biswas, 1996), a Conferência de Estocolmo em 1972 (Biswas et al. 1993) e o The Brundtland Report em 1987 (UNECED, 1992). É importante citar que essas reuniões e acordos são precursores de significativos encontros sobre as questões de sustentabilidade sócia econômica e ambiental que aconteceram na década de 1990, tais como a ECO-92 e anos mais recentes a Rio+10 (UNECED, 1992), (WECD, 1987).

O conceito de sustentabilidade é complexo e envolve uma série de critérios técnicos e prioridades que na prática nem sempre são fáceis de mensurar e relacioná-los (Svedin, 1988; Biswas, 1996; Pezzey, 1992; 1993. Segundo Pezzey (1992), a idéia de que uma determinada variável tenha características sustentáveis com o tempo depende de três funções: eficiência,

que sobreviva e conseqüentemente sejam sustentáveis. Essas funções devem ter um valor mínimo para que possam ser ou estarem acima do limite mínimo adotado de um conceito de bem estar social. O Task Commite on Sustainability Criteria, Water Resoureces Planning and Management Division, of American Society of Civil Enginners, ASCE (1992), fez uma excelente abordagem sobre desenvolvimento sustentável e meio ambiente para sistemas de recursos hídricos.

O diagnóstico de que uma variável (atividade) tem caraterística de sustentabilidade pode ser definida isoladamente ou atribuindo-se pesos a uma combinação de fatores característicos da variável em estudo que estão associadas a sua sustentabilidade, e as três funções mencionadas acima. Entre esses fatores tem-se confiabilidade - isto é, apresentar valores adotados em um determinado intervalo de tempo que sejam compatíveis com o bem estar social. Resiliência - índice de trocado dado entre o número de casos acima do valor adotado como limite de bem estar social seguido de um valor abaixo desse ao longo de um intervalo de tempo, sobre o número de ocorrências desse valor abaixo do limite adotado, e a própria vulnerabilidade da variável, que pode ser definida como a razão entre o número de ocorrências em um determinado intervalo de tempo abaixo do valor limite adotado e o número total de possível de ocorrências. A vulnerabilidade tem uma componente de intensidade e uma de duração. Essas medidas podem ser estudadas para variáveis, econômicas, ambientais, ecológicas e sociais (Da Cunha, 1989; Brooks, 1992; Gleick et al. 1995).

O objetivo desse estudo foi analisar preliminarmente a sustentabilidade, e seus fatores definidores, de variáveis agro-hidrometeorológicas (vazão anual em reservatórios hídricos - região metropolitana de Fortaleza e Açude Orós, totais anuais de precipitação, produção e rendimento de milho e feijão no estado do Ceará). Essa relação foi investigada porque essas variáveis são fortemente dependentes da variação interanual da chuva no Estado.

## 2 - DADOS E METODOLOGIA

As variáveis utilizadas nesse estudo foram séries de totais anuais de produção e rendimento de milho e feijão para o estado do Ceará (1952-2001) obtido no Instituto de Planejamento do estado do Ceará (IPLANCE). Totais anuais de vazões afluentes nos Açudes Pacoti, Riachão e Gavião (1931-2001) que abastecem a região metropolitana de Fortaleza obtidas da Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) – Figura 1. Além, de uma série de total anual médio de precipitação pluviométrica para o estado Ceará (1913-2000), obtidas do banco de dados da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (extinta SUDENE) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Dados mensais de Temperaturas da Superfície do Mar (TSMs) observadas nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais são oriundas de uma versão do Comprehensive Atmospheric-Ocean Data Set (COADS). Esse arquivo contém dados de médias mensais em pontos de grade de  $1^\circ \times 1^\circ$  de latitude-longitude para um período de 1945 a 2000. Maiores detalhes desse arquivo de dados são encontrados em Da Silva et al. (1994).

Os totais anuais das variáveis agro-hidrometeorológicas referem-se aos valores observados no período de janeiro a dezembro. Para TSMs foram usadas as suas anomalias para o período de fevereiro a maio, período de maior impacto dessas anomalias na precipitação do setor norte do Nordeste e estado do Ceará (Moura e Shukla, 1982; Nobre e Shukla, 1996, Sun et al., 2005), sendo a sua distribuição espacial e temporal ao longo do Estado, implicitamente, definidora das características interanuais observadas das demais variáveis estudadas.

Primeiramente foi calculada uma média de longo tempo (MLT) dessas variáveis para seus respectivos períodos de tempo, seguidos pelos cálculos de seus desvios padrões e um desvio normalizado por esses respectivos desvios padrões. A formulação a seguir exemplifica esses cálculos.

$$MLT_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} v_i \quad (1)$$

onde:  $v$  é a variável a ser considerada e  $n$  é o número em anos da referida série de dados.

$$DN_{v,i} = \left( \frac{v_{obs,i} - MLT_v}{DP_v} \right) \quad (2)$$

onde: DN é desvio normalizado da variável  $v$ , DP é o desvio padrão da respectiva variável e  $i$  o ano particular na série de dados em questão. Foi calculado o coeficiente de variação de cada variável hidrometeorológica definido de acordo com fórmula abaixo.

$$CV_v = \frac{DP_v}{MLT_v} \quad (3)$$

Os valores do  $DN_{v,i}$  das variáveis foram usados para definir os índices de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade cujas características associam-se as suas sustentabilidades ao longo do tempo. Como os critérios de definição das medidas de resiliência, vulnerabilidade e confiabilidade são subjetivas

(Pezzey, 1996), e esses dependem do conhecimento e avaliação prévios dos seus impactos em relação ao bem estar sócio-econômico da sociedade afetada, nesse estudo optou-se por um limite para separar condições satisfatórias e insatisfatórias das variáveis implicitamente ligadas ao bem estar social. Esse limite é enunciado a seguir. Para todas as variáveis agro-hidrometeorológicas analisadas definiram-se duas condições de acordo com o valor do desvio normalizado (DN).

- Condição Satisfatória: Definida quando o valor do desvio normalizado (DN) foi maior ou igual a -0,5 DP.

- Condição Insatisfatória: Definida quando o valor do desvio normalizado (DN) for menor que -0,5 DP. Esses limiares de acordo com análises de planejamento e políticas públicas têm mostrado que nos anos ou períodos em que esses ocorrem acima (abaixo) do limiar estabelecido como satisfatório, a condição de bem estar sócio econômico de várias regiões do estado do Ceará aumenta (diminui) significativamente (Magalhães, 1991).

A definição dos fatores de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade tiveram como base os critérios comentados em Pezzey (1996) com algumas modificações levadas em consideração à realidade sócio-econômica observadas das populações do Estado do Ceará diretamente afetadas pela variabilidade interanual das variáveis agro-hidrometeorológicas, e tendo como base os limites de condições satisfatória e insatisfatória. Esses critérios foram explicados anteriormente. A formulação de cada um desses fatores é apresentada a seguir.

$$CONF_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} NES_{v,i} \quad (4)$$

onde:  $CONF_v$  é a confiabilidade da variável  $v$  em análise,  $NES_{v,i}$  é o número de eventos com condição satisfatória e  $n$  é o número de anos envolvido no cálculo.

$$RES_v = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{NES1_{v,i}}{NEI_{v,i}} \quad (5)$$

onde:  $RES_v$  é a resiliência da variável  $v$  em análise,  $NES1_{v,i}$  é o número de eventos com condição satisfatória seguidos de um com condição insatisfatória,  $NEI_{v,i}$  é o número de eventos com condição insatisfatória e  $n$  é o número de anos envolvido no cálculo. Como a vulnerabilidade é uma variável que está associada à duração e intensidade, dois índices foram calculados para se obter a vulnerabilidade média.

Índice relativo à duração da vulnerabilidade – Foi calculado em função da falha quantitativa do observado da

variável em questão. Isto é, o quanto em magnitude faltou para atingir o limite satisfatório estabelecido ( $>-0,5DN$ ). Em outras palavras, acha-se essa diferença e seu valor é multiplicado por  $-1$ , sendo posteriormente multiplicado pelo DP da variável. Para se calcular um valor adimensional, após o cálculo desses  $v_{ext(i)}$ , para um determinado  $n$  (anos), divide-se o mesmo pelo maior valor em módulo dos valores negativo de  $DN_{v(i)}$  (Valor crítico(v)).

$$v_{ext(i)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \left[ \left( -0,5 - \left( -D_{m(i)} \right) \right) \right] * -1 * DP_v$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{v_{ext(i)}}{v_{valor\ crítico(v)}} \quad (6)$$

Índice relativo ao número de eventos vulneráveis ao longo da série de dados analisada - Foi calculado pelo número de eventos insatisfatórios sobre o número de eventos da série.

$$v_{2v} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{NEI_{v,i}}{NE_{v,i}} \quad (7)$$

Logo a vulnerabilidade da variável é dada por:

$$VUL_v = \frac{v_{1(v)} + v_{2(v)}}{2} \quad (8)$$

Onde:  $VUL_v$  é a vulnerabilidade da variável em questão e os outros parâmetros têm as mesmas definições já citadas anteriormente.

Segundo os critérios estabelecidos e de acordo com algumas avaliações e considerações sobre a sustentabilidade na literatura especializada (Pezzey, 1992), que enfatiza que uma variável ou um sistema tem características sustentáveis quando ocorre um incremento da confiabilidade e da resiliência e um decaimento da vulnerabilidade no tempo em análise. Em função dessas características para sustentabilidade foi criada a seguinte fórmula para o seu cálculo.

$$SUS_v = CONF_v * RES_v * (1 - VUL_v) \quad (9)$$

Menciona-se que todos os índices calculados, em função de suas definições, para todas variáveis são adimensionais. Essa característica pode ser observada nas fórmulas 4, 5, 8 e 9. Quanto maior em magnitude, esses índices indicam que as variáveis são mais confiáveis, resilientes, vulneráveis e sustentáveis. Se a vulnerabilidade for menor que a unidade, atribuiu-se, segundo metodologia de cálculo, uma característica de não sustentabilidade da variável.

Foram investigadas também as relações lineares, dadas em função do valor do coeficiente de correlação entre as anomalias dos índices de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e da própria sustentabilidade para cada variável agro-hidrometeorológica e a anomalia TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico. Essas análises foram feitas para médias móveis corridas de sete anos. A escolha de sete anos deve-se ao fato de ser um período crítico de recorrência de eventos El Niño, La Niña e Dipolo positivo e negativo de TSM no Atlântico Tropical (Philander, 1991; Enfield e Mayer, 1997).

Em geral, anos chuvosos no semi-árido nordestino estão relacionados com anomalias de TSMs positivas (negativas) nos setores sul (norte) abaixo (acima) do equador da bacia do Oceano Atlântico Tropical. Simultaneamente, a essa configuração de TSM ocorre uma intensificação dos ventos alísios de nordeste associado com anomalias positivas de pressão ao nível do mar (PNM), e um enfraquecimento dos ventos alísios sudeste associados às anomalias negativas de PNM no setor sul da bacia. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema atmosférico causador de chuva no período de fevereiro a maio no setor norte do NEB migra para posições ao sul do equador permanecendo durante toda a quadra chuvosa sobre ou nas proximidades dessa região. Esta fase é referida como fase quente ou dipolo negativo de TSM (Moura e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1996). Características contrárias das acima mencionadas definem o chamado dipolo positivo de TSM no Atlântico Tropical. Situações de El Niño (La Niña) no Pacífico Tropical associam-se na maior dos casos a eventos de Dipolo Positivo (Negativo) de TSM no Atlântico Tropical (Wang, 2002a, 2002b). Essas condições têm impacto direto na oferta e demanda de água nos reservatórios hídricos do Estado do Ceará e na produção e produtividade de grãos com reflexos diretos nas condições de vida sócio-econômicas das populações ao longo do Estado (Lemos et al. 2004; Sun et al. 2005).

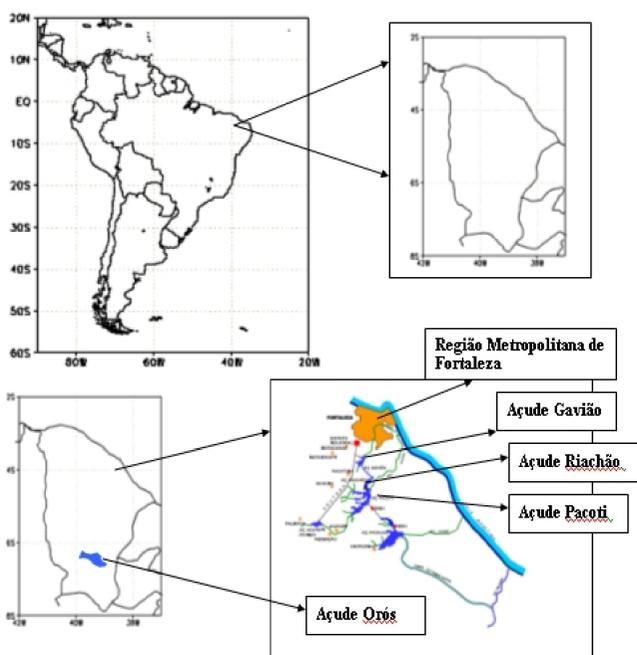
### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra uma estatística obtida da análise das séries das variáveis estudadas. Pode-se observar que a variabilidade é menor para as vazões afluentes nos açudes da região metropolitana e Açude Orós. Os seus valores de CV são inferiores a unidade, enquanto as demais variáveis apresentam

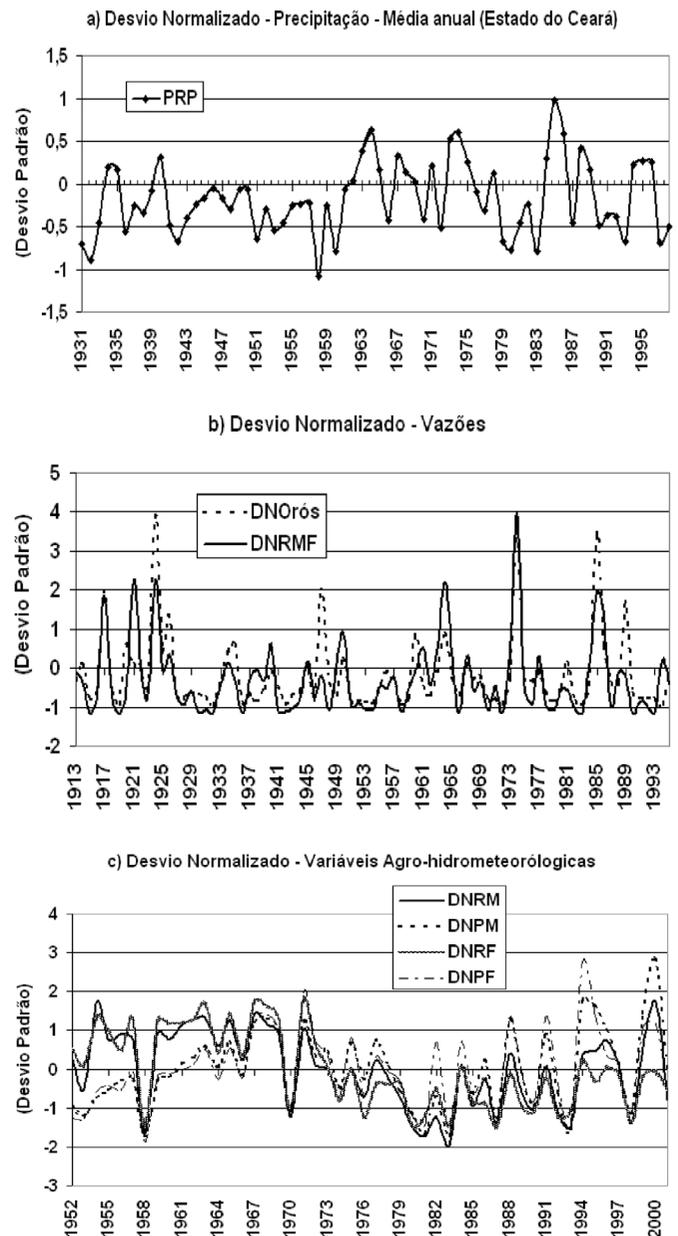
valores superiores a esse valor, indicando maior variabilidade. Esses resultados para os dados de vazão são similares para vazões de rios intermitentes localizados na região semi-árida do estado do Ceará. Pode-se observar que o CV para ambas a culturas agrícolas, tanto no rendimento como a produção apresentaram valores maior que dois, o milho teve tanto para a produção como para o rendimento desvios padrões com valores da ordem de duas vezes os valores observados para a cultura de feijão.

**Tabela 1** - Valores de CV, MLT (M) e desvio padrão (DP). Para as variáveis em estudo. VORÓS (vazão afluente no Açude Orós), VRMT (vazão nos açudes que abastecem Fortaleza), PM (produção de milho), RM (rendimento de milho), PF (produção de feijão), RF (rendimento de feijão) e PR (precipitação média anual para o estado do Ceará). Os valores médios de vazões anuais estão (hm<sup>3</sup>), de produção de grãos (t), de rendimento de grãos em (kg/ha) e precipitação (mm).

	CV	M	DP
VORÓS	0,78	34,8	44,56
VRMT	0,91	33,38	36,34
PM	1,84	249273	135782,2
RM	2,45	604,5	246,13
RF	2,51	354,64	141,17
PF	2,04	124806,3	61023,69
PR	1,61	690,67	428,87



**Figura 1** – Localização da área de estudo na América do Sul. Açudes usados no estudo.

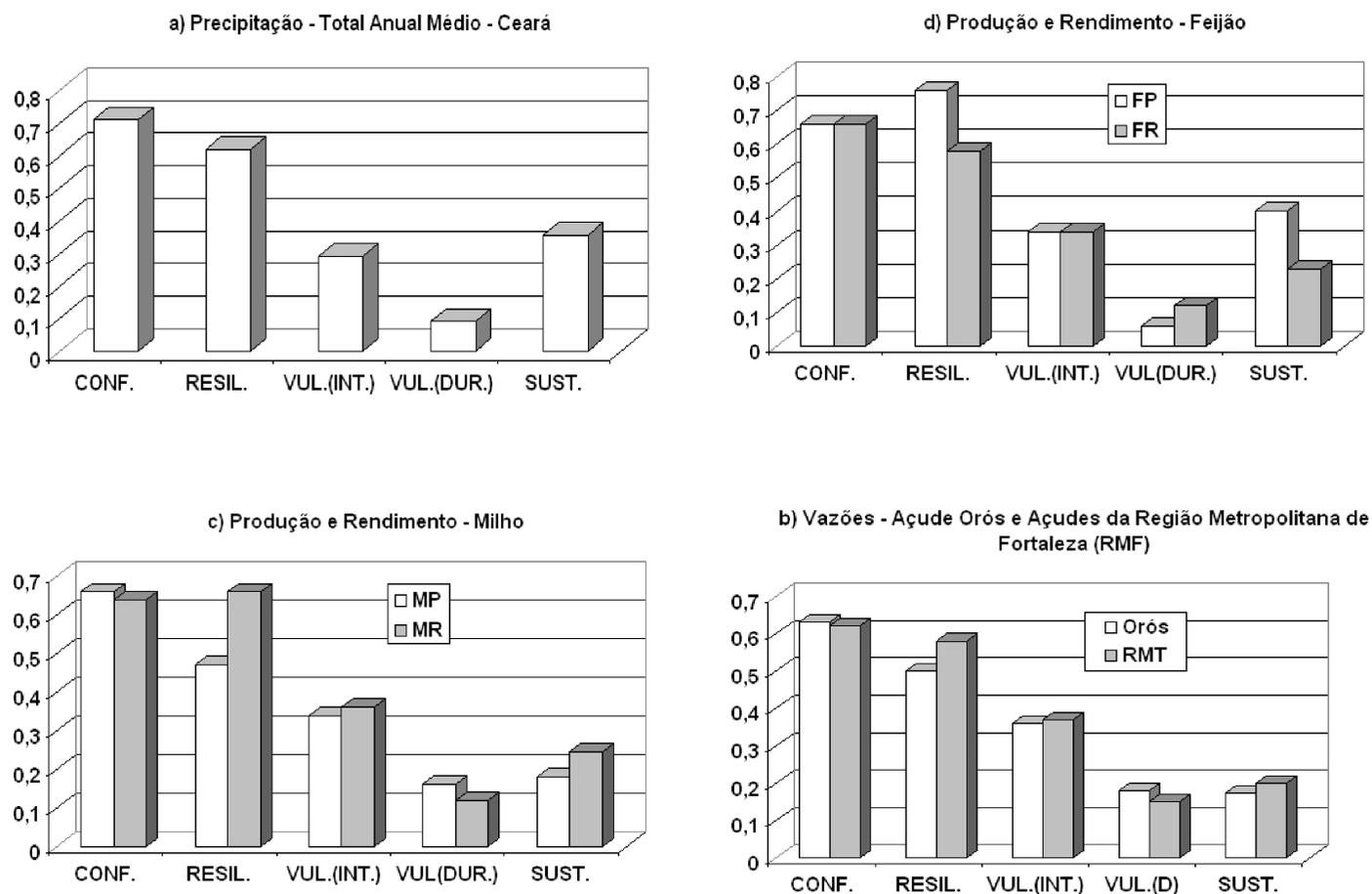


**Figura 2** - Desvios normalizados (DN). a) total médio anual da precipitação, b) total anual da vazão afluente no Açude Orós e Açudes que abastecem Fortaleza, c) totais anuais do rendimento de Milho (DNRM), produção de milho (DNPM) e d) rendimento de feijão (DNRF) e produção de feijão (DNPF).

A Figura 2 mostra a variação interanual do índice de desvios normalizados - DN para todas as variáveis analisadas. Nota-se grande variabilidade interanual para todas as variáveis agro-hidrometeorológicas. Nessas figuras pode-se observar que a variabilidade climática se faz presente em todas as variáveis. Por exemplo, o período mais seco entre 1979-1982 apresenta valores de DN abaixo de zero nos dados de vazão, agricultura e precipitação. Outra característica interessante mostrada

nessa figura é que a precipitação média no estado e as vazões apresentam oscilações interanuais mais recorrentes, passando de desvios positivos a negativos e de negativos a positivos, do que os dados agrônômicos, que apresentaram um predomínio de valores positivos até a década de 1970. O Impacto da variabilidade térmica dos fenômenos El Niño (La Niña) foi mais aparente nas variáveis vazão e precipitação. Alguns anos típicos de La Niña como 1924, 1964, 1974, 1985 (e de El Niño 1957-1958, 1982-1983) os desvios de vazão foram acima de três desvios padrões e em torno à acima de 0,5 desvios padrão para precipitação (Figuras 2b, 2a). Anos de El Niño estiveram associados com desvios negativos de produção e rendimento de grãos (1955-1958, 1979-1983 e 1997-1998, por exemplo). Porém em alguns anos de excesso de chuvas, em geral associados a anos de La Niña (1984-1986 e 1989) foi observada uma predominância de desvios negativos de produção e rendimento de milho e feijão.

A Figura 3 mostra os índices anuais de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade para as variáveis em estudo para todo o período das séries analisadas. Nota-se que o índice de sustentabilidade variou em torno de 0,2 (Açude Orós) a 0,40 para produção de feijão e precipitação. Os maiores índices de sustentabilidade foram encontrados para a produção de feijão (0,40) e precipitação (0,35). Os menores índices de sustentabilidade foram observados para a produção do milho e vazão anual no açude Orós, valores em torno de 0,20. Para todas as variáveis os maiores índices foram observados para a variável confiabilidade, seguidos da variável resiliência, valores em torno a acima de 0,6. Para a vulnerabilidade esses valores foram da ordem de 0,2 e 0,1. A variável produção de feijão foi à única que apresentou ao longo da sua série de observação um índice de resiliência (em torno de 0,7) maior do que o da variável confiabilidade (próximo a 0,6).



**Figura 3** - Índices de confiabilidade (CONF.), resiliência (RESIL.), vulnerabilidade (VUL.) e sustentabilidade (SUST.). a) Total anual médio para precipitação no Estado do Ceará, b) total anual médio vazão afluente nos açudes da região Metropolitana de Fortaleza (RMT) e Açude Orós, c) totais anuais de produção (MP) e rendimento de milho (MR) e d) totais anuais de produção (FP) e rendimento de feijão (FR).

Essa característica também é consistente com a variabilidade climática observada no setor norte do Nordeste. Como a cultura do milho necessita de um período longo de dias (em geral maior que 90 dias dependendo da espécie cultivada) para ter uma boa colheita safra, é climaticamente óbvio a necessidade de uma maior regularidade das chuvas, que nem sempre acontece, daí a sua produção, em média, ter um índice menor de sustentabilidade. A mesma característica é válido para o Açude Orós que está localizado em uma região mais árida do estado do Ceará sendo mais afetado pela irregularidade das chuvas fato que não acontece para os açudes que abastecem Fortaleza. Pois, nos mesmos afluem vazões oriundas de chuvas provocadas de sistemas atmosféricos que são influenciados por características locais, como efeitos de brisa e orografia, que não atuam na região do Açude Orós. Quanto aos fatores que definem a vulnerabilidade pode-se observar para todas as variáveis da Figura 3, que o índice devido à intensidade da vulnerabilidade foi maior em magnitude do que o relativo a seu fator de duração.

No caso da cultura de feijão características inversas a da cultura do milho foi observada. Com o feijão é uma cultura de ciclo fisiológico mais curto (em média 60 dias), a mesma tende a ser mais viável a ser cultivada em áreas de grande variabilidade temporal e espacial das chuvas, como é o caso do estado do Ceará, por isso se justifica um índice de sustentabilidade de produção dessa cultura maior em magnitude. Ressalta-se, que, pelo menos para toda a série de estudo dessas variáveis, nem sempre a sustentabilidade da produção associa-se a maiores índices de sustentabilidade do rendimento da cultura, pois outros fatores externos à variabilidade climática, como insumos agrícolas e tecnologia, concorrem para essa questão. Essa característica está explícita na Figura 3, pois a relação é inversa para o milho e feijão. Maior (menor) índice de sustentabilidade de produção está relacionado com menor (maior) índice de sustentabilidade para o rendimento de ambas as culturas.

A Figura 4 mostra uma variabilidade decadal, média móvel corrida de 10 anos, dos índices de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade das variáveis em estudo. Apesar de a sustentabilidade ser um uma variável que deve ser medida para certo delta de tempo, essas figuras podem inferir uma informação para períodos corridos de 10 em 10 anos. Nota-se por essas figuras que a sustentabilidade é diretamente dependente da vulnerabilidade em todas as variáveis.

Outra característica relevante é que para os dados de vazões, ocorreu maior estabilidade no valor desses índices entre o início do século e meados dos anos 50, situando-se entre 0,4 e 0,8 a partir desse período até meados dos anos 70, o índice de sustentabilidade cresceu, voltando a cair para o final do século passado. Não há uma ainda uma explicação categórica para o abrupto crescimento e do decaimento do índice de sustentabilidade das vazões médias que abastecem Fortaleza e

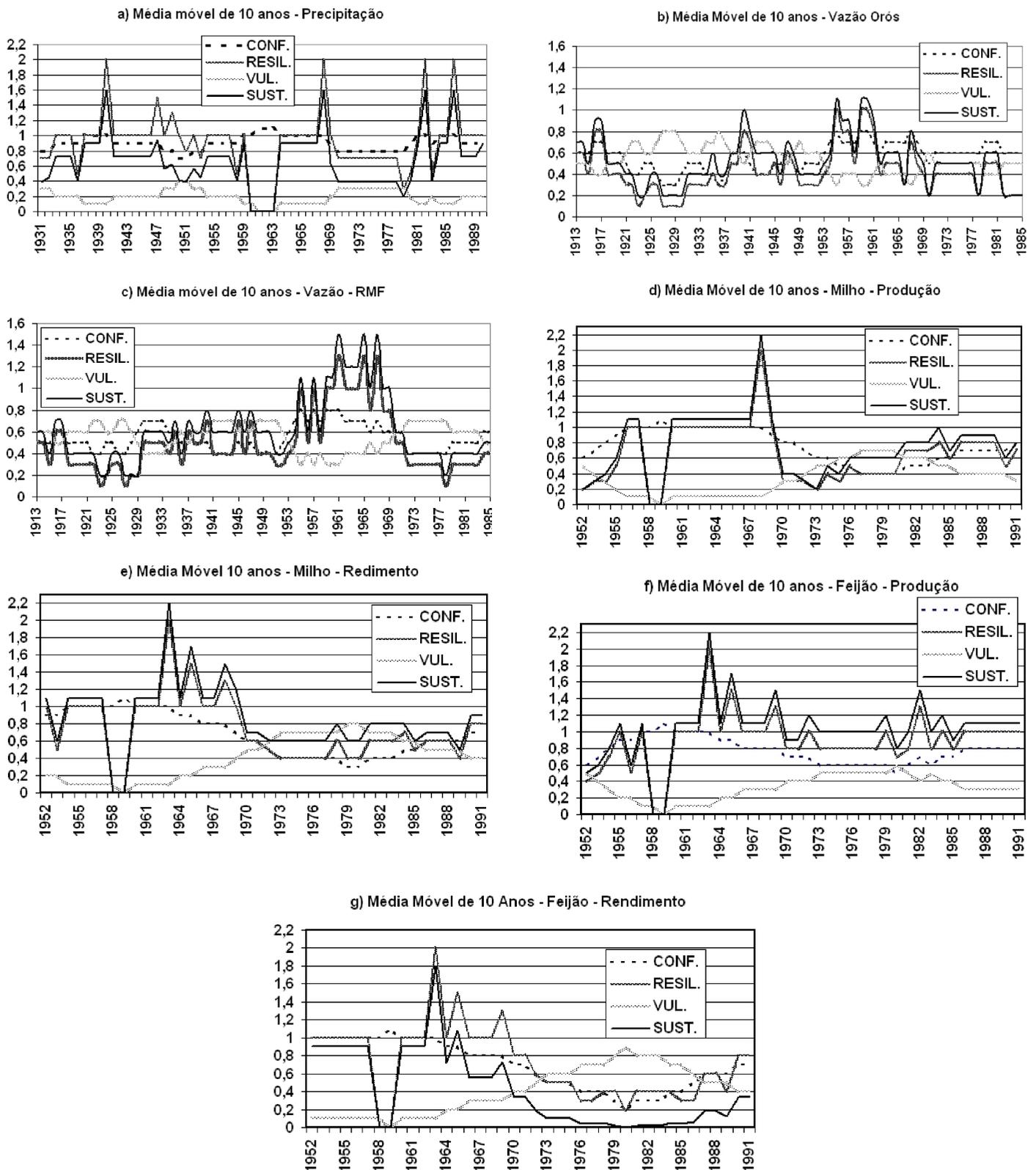
o no Açude Orós. Essa variabilidade não é aparente na Figura 2b (desvios normalizados de totais anuais de vazões), e como os dados de precipitação da Figura 1a, foram obtidos de uma média anual ao longo do Estado uma possível inferência entre a variabilidade da precipitação e essas variações de vazões não são consistentes.

Uma possibilidade de explicação dessas variações das vazões seria avaliar as precipitações nos postos pluviométricos nas áreas de captação das bacias hidrológicas dos açudes que abastecem Fortaleza, questão não abordada nesse estudo. Nesses índices móveis decadais de vazão uma outra característica interessante foi observada, do início da série de observação até aproximadamente os anos 30, a vulnerabilidade apresentou índices maiores do que a sustentabilidade, confiabilidade e a resiliência. Após a década de 30 observaram-se uma queda na vulnerabilidade e um aumento de sustentabilidade, resiliência e confiabilidade nos dados de vazão analisados.

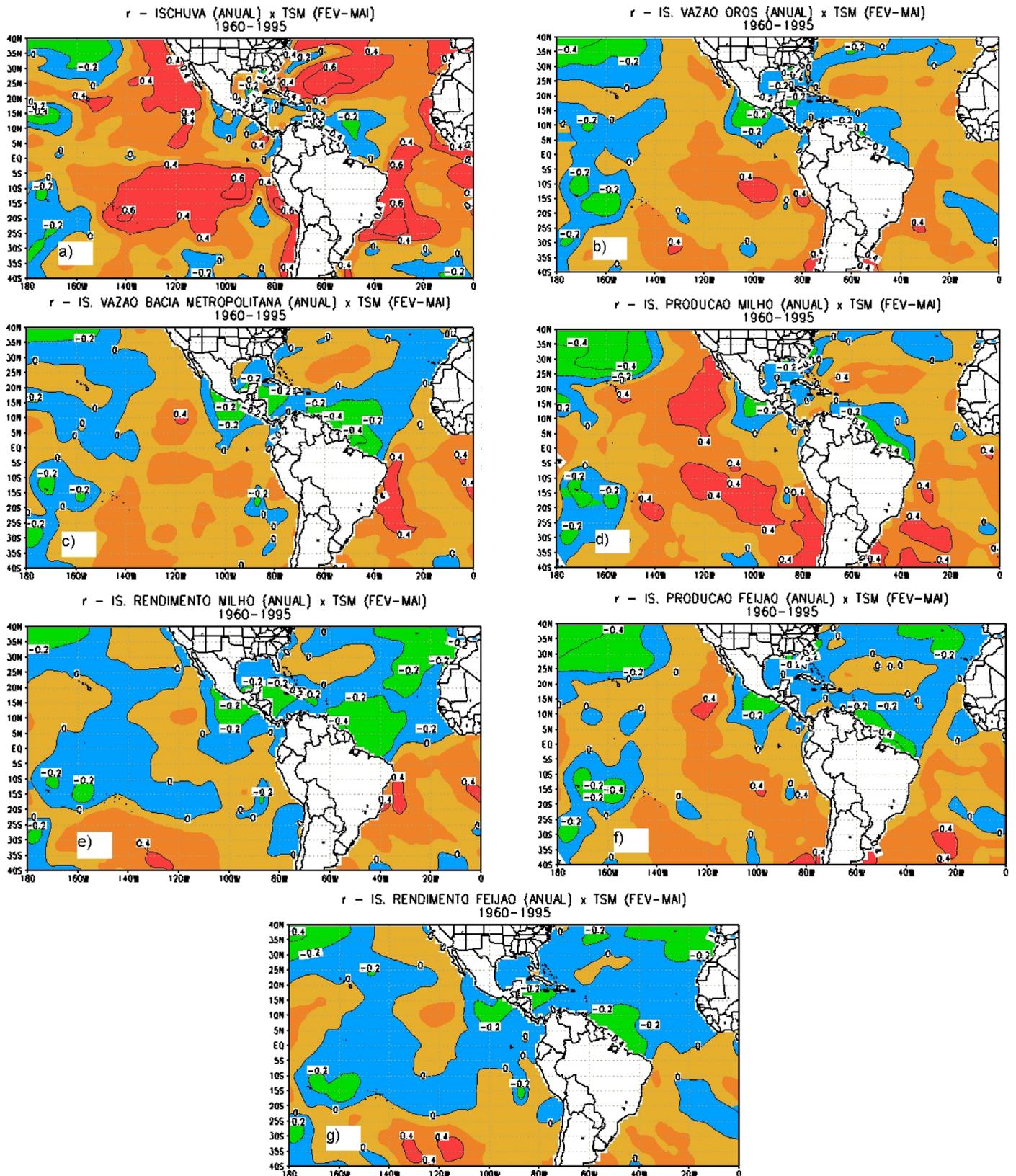
Para a precipitação os índices de confiabilidade e vulnerabilidade apresentaram menor variabilidade (Figura 3a), os valores de confiabilidade oscilaram em torno de 1,0 e os da vulnerabilidade abaixo de 0,5. Para os dados de agricultura, o mais interessante observado, foi um aumento do índice de sustentabilidade entre as décadas de 30 a 50, e uma queda desse índice de sustentabilidade a partir da década de 1970. Essa característica é consistente com as figuras de desvios normalizados (3c) que mostram predomínio de desvios positivos de produção e rendimento das culturas de milho e feijão até os anos 50 e um decréscimo a partir dessa data. Essa variabilidade dos índices de sustentabilidade foi acompanhada por um decréscimo dos índices de vulnerabilidade e confiabilidade dessas culturas, e um acréscimo do índice de resiliência nas décadas de 30 e 50 e condições contrárias após os anos 70.

Uma análise das características temporais dessas séries (figuras não mostradas) evidenciou uma clara tendência de acréscimo e decréscimo dessas variáveis nos períodos mencionados acima. Nessas figuras de produção e rendimento das culturas agrícolas pode-se observar também uma clara dependência da variabilidade climática.

Por exemplo, entre 1957-1958 anos de intensos El Niños (Philander, 1991) houve uma queda abrupta no índice de sustentabilidade, característica não observada nas outras variáveis (precipitação e vazão). As quedas acentuadas na variável precipitação do índice de sustentabilidade (período aproximadamente de 1961-1964) devem-se a formulação de definição para o cálculo da mesma, particularmente a variável resiliência que teve valor igual à zero nesse período. Como também essas variáveis têm características diferentes ao longo do tempo, nessas figuras de médias móveis de 10 anos, não é aparente a relação inversa entre os índices de sustentabilidade das variáveis produção e rendimento das culturas do milho e



**Figura 4** - Índices decadais (média móvel de 10 anos) de totais anuais de confiabilidade (CONF.), resiliência (RESIL.), vulnerabilidade (VUL.) e sustentabilidade (SUST.). a) precipitação total anual médio no estado do Ceará, b) vazão afluente nos açudes que da região Metropolitana de Fortaleza, c) vazão afluente no Açude Orós, d) produção de milho, e) rendimento de milho, f) produção de feijão e g) rendimento de feijão.



**Figura 5** - Correlação linear entre as anomalias do índice de sustentabilidade e as anomalias de TSM (médias móveis de sete anos). a) Total anual médio de precipitação para o Ceará, b) total anual da vazão afluente no Açude Orós, c) total anual médio da vazão afluente nos açudes da região Metropolitana de Fortaleza, e totais anuais de: d) produção de feijão, e) rendimento de feijão, f) produção de milho e g) rendimento de milho. Correlações em magnitude maiores que 0,3 em módulo são significativas a 95% segundo teste t Student.

feijão, que foi observado quando esses índices foram calculados para toda a série de dados dessas variáveis (Figura 3).

**Tabela 2** - Índices de confiabilidade (CONF.), resiliência (RESIL.), vulnerabilidade (VUL.) e sustentabilidade (SUST.) para períodos decadais da precipitação, média anual no estado do Ceará.

Precipitação	CONF.	RESIL.	VUL.	SUST.
1931/1940	0,6	0,25	0,06	0,14
1941/1950	0,70	0,0	0,42	0,0
1951/1960	0,50	0,6	1,22	-0,06
1961/1970	0,90	1,0	0,02	0,82
1971/1980	0,80	1,0	0,22	0,62
1981/1990	0,50	0,40	1,0	0,00
1991/2000	0,40	0,33	0,82	0,02

**Tabela 3** - Índices de confiabilidade (CONF.), resiliência (RESIL.), vulnerabilidade (VUL.) e sustentabilidade (SUST.) para períodos decadais para o total anual da vazão afluente no Açude Orós e para o total anual médio para a Região Metropolitana de Fortaleza. Os valores entre parêntese são para Região Metropolitana de Fortaleza.

Vazão	CONF.	RESIL.	VUL.	SUST.
1913/1922	0,6(0,8)	1,0(1,0)	0,17(0,1)	0,49(0,79)
1923/1932	0,6(0,5)	0,5(0,4)	0,33(0,35)	0,19(0,13)
1933/1942	0,6(0,7)	0,5(0,67)	0,34(0,15)	0,19(0,39)
1943/1952	0,5(0,5)	0,6(0,4)	0,4(0,25)	0,18(0,15)
1953/1962	0,5(0,7)	0,4(0,3)	0,43(0,15)	0,11(0,17)
1973/1982	0,8(0,6)	1,0(0,75)	0,17(0,20)	0,66(0,36)
1983/1995	0,61(0,53)	0,20(0,33)	0,33(0,23)	0,08(0,13)

**Tabela 4** - Índices de confiabilidade (CONF.), resiliência (RESIL.), vulnerabilidade (VUL.) e sustentabilidade (SUST.) para períodos decadais para os totais anuais de rendimento e produção do milho e feijão. Os valores entre parêntese são para a produção de ambas as variáveis. A segunda linha para cada década se refere à cultura de feijão.

DÉCADAS	CONF.	RESIL.	VUL.	SUST.
1952/1961	0,8(0,5)	1,0(0,2)	0,10(0,32)	0,72(0,06)
	0,9(0,5)	1,0(0,4)	0,08(0,32)	0,82(0,13)
1962/1971	0,9(0,9)	1,0(1,0)	0,05(0,06)	0,86(0,84)
	0,9(0,9)	1,0(1,0)	0,06(0,07)	0,84(0,85)
1972/1981	0,5(0,7)	0,6(0,3)	0,25(0,20)	0,22(0,16)
	0,6(0,6)	0,75(0,75)	0,29(0,25)	0,31(0,33)
1982/1991	0,4(0,5)	0,5(0,6)	0,3(0,33)	0,14(0,20)
	0,3(0,6)	0,28(1,0)	0,47(0,26)	0,04(0,44)
1992/2001	0,6(0,7)	0,5(0,33)	0,20(0,20)	0,24(0,18)
	0,6(0,7)	0,5(1,0)	0,27(0,19)	0,21(0,56)

As tabelas 2, 3 e 4 mostram os índices de confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade para as variáveis estudadas para períodos decadais. Nota-se que para todas as variáveis, exceto para vazões afluentes, levando-se em consideração o conceito de sustentabilidade (Pezzey, 1992), o

qual denota que o seu valor deve ser crescente com o tempo, que esse conceito não é evidente nas variáveis analisadas, pois esses oscilam valores maiores e menores em magnitude ao longo das décadas. É claro nessas tabelas, que o índice de sustentabilidade decadal varia com a variabilidade climática da região. Para a variável precipitação, rendimento e produção de milho e feijão os valores em magnitude do índice de sustentabilidade ao longo das décadas são decrescentes em magnitude. Essa característica indica também uma diminuição ao longo de cada período de 10 anos dos fatores de confiabilidade e resiliência dessas variáveis.

A influência da variabilidade climática foi analisada pela correlação entre as anomalias de médias móveis de sete anos do índice de sustentabilidade dessas variáveis e as anomalias de TSM (período de 1965-1995) nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, sendo mostrada na Figura 5. Essa influência foi mais evidente na bacia do Atlântico Tropical em todas as variáveis, indicando que anomalias positivas (negativas) de TSM nos setores norte (sul), embora explicando menos de 15% da variabilidade desse índice de sustentabilidade dessas variáveis, estão associadas a índices de sustentabilidade positivos (negativos). Essas características térmicas no Atlântico Tropical associam-se com o dipolo positivo (negativo) de TSM, e suas variabilidades interanuais estão diretamente relacionadas com as condições climáticas da região semi-árida do Nordeste (Nobre & Shukla, 1996). Para o total anual médio de precipitação no Estado do Ceará, correlações com magnitudes superiores 0,6 significativas a 95%, foram observadas no Atlântico Norte (25°N-60°W).

No Pacífico foi observada uma maior heterogeneidade na configuração das correlações nessa média móvel de sete anos, nem sempre consistente com o padrão de aquecimento (El Niña) resfriamento (La Niña), associado anomalias positivas (negativas) do variável precipitação e produção e rendimento de grãos no Estado do Ceará (Moura e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1996; Alves et al.; 1998; Pezzi e Cavalcanti, 2001). Por exemplo, para precipitação foram observadas correlações positivas (superiores a 0,4), indicando que anomalias positivas de TSM podem estar associadas a totais anuais de chuvas acima da média no estado do Ceará. Essa característica deve-se a escala espacial da chuva em observada no Estado, isto é quando a escala espacial é menor do que, por exemplo, a da região semi-árida (nível regional), as variações de TSM já não apresentam um controle tão significativo na distribuição de chuva dessas áreas. Em outras palavras, a variabilidade de fenômenos atmosféricos de meso e micro escalam que atuam sobre a região, parecem mais importantes nessa situação. Para outras variáveis como produção de milho, que tem implicitamente sua variação controlada pela precipitação, essa característica no Pacífico Tropical também foi mais evidente.

#### 4 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Entre as principais conclusões do estudo podem-se citar. A sustentabilidade de todas as variáveis é função dos termos de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, sendo mais evidente para esses dois termos nos dados agrícolas, estando à vulnerabilidade e a confiabilidade fora de fase com a sustentabilidade. Maiores índices de sustentabilidade, calculado para todo o período de observações das variáveis analisadas, foram encontrados para produção de feijão e precipitação (0,40 e 0,35, respectivamente). Os menores foram encontrados para a vazão no Açude Orós e produção de milho (em torno de 0,20). Entretanto, esses índices não indicam que essas variáveis são sustentáveis com o passar do tempo, de acordo com a metodologia utilizada. Ficou claro um decréscimo dos índices de sustentabilidade decadal predominando em todas as variáveis, mais evidentes nas variáveis agrícolas.

A relação de variáveis climáticas como a TSM na sustentabilidade dessas variáveis, média móvel de sete anos, essa foi mais aparente na Bacia do Atlântico Tropical em todas as variáveis. Indicando que, em média, anomalias positivas (negativas) de TSM, embora explicando menos de 10% da variabilidade desse índice de sustentabilidade dessas variáveis, estão associadas a sustentabilidade acima (abaixo) da média.

Como recomendações a estudos futuros sugerem-se o teste de novos limiares que definam as condições satisfatórias e insatisfatórias, para que se possam comparar os resultados aqui obtidos. Além disso, deve-se identificar que valores de índices de sustentabilidade e suas variáveis estão associados a melhores condições de vida, por exemplo, do grande contingente populacional do interior do Estado que vive, em geral, da agricultura de subsistência; e que é o mais afetado por essas variações de sustentabilidade das variáveis estudadas.

#### 5 - AGRADECIMENTOS:

Aos revisores anônimos da RBMET cujas críticas e sugestões foram importantes para o aprimoramento científico e apresentação do artigo.

#### 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A. Impactos da Variabilidade Climática Tropical na Agricultura de Subsistência do Estado do Ceará. I Prêmio INMET sobre os Benefícios da Meteorologia no Brasil. 2006. Em fase de Publicação.
- ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A. Produção agrícola de subsistência no Estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.6, n.2, p.249-256. 1998.
- BISWAS, A. K. *Water Resources Environmental Planning Management and Development*. 1996.
- BISWAS, A. K., JELALI, M.; STOUT, G. (eds). *Water for Sustainable Development in the Twenty-first Century*. Oxford University Press, Delhi, India. 1993.
- BROOKS, H. *Sustainability and Technology*. Science and Sustainability, Chapter 1, IIASA, Laxemburg, Austria. 1992.
- Da CUNHA, L. V. *Sustainable Development of Water Resources Proceedings*. International Symposium on Integrated Approaches to Water Pollution Problems. Lisbon. 1989.
- DA SILVA, A.M.; YOUNG, A.C. e LEVITUS, S. *Algorithms and Procedures*, vol.1, Atlas of Surface Marine Data. Maryland, National Oceanic and Atmospheric Administration, 83 pp. 1994.
- ENFIELD, D. B.; MAYER, D. A. Tropical Atlantic SST variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research Letters*, v.102, p.929-945. 1997a.
- GLEICK, P. H.; LOH, P.; GOMEZ, S.; MORRISON, J. *California Water 2020: A Sustainable Vision*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland, CA. 113p. 1995.
- GOODLAND, R., DAILY, H.; EL SERAFY. *Environmentally Sustainable Economic Development: Building on Brudtland*. World Bank Environmental Working Paper No. 46, World Bank, Washington, DC, 85pp. 1991.
- LEMONS, M. C. T.; FINAN, T. J.; FOX, R. W.; NELSON, D. R.; TUCKER, J. The use of seasonal climate forecasting in policy making: Lessons from Northeast Brazil. *Climate Change*, v.55, p.479-507. 2004.
- MAGALHÃES, A. R.; NETO, E. B. *Impactos sociais e econômicos de variações climáticas e respostas governamentais no Brasil*. Imprensa Oficial do Ceará - IOCE. Fortaleza-Ce. Dezembro, 1991.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of Atmospheric Science*, v.38, n.7, p.2653-2675. 1981.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v.10, n.4, p.2464-2479. 1996.
- PEARCE, D. W. *Valuing the environment: Past Practice, Future Prospect*. First Annual International Conference on Environmentally Sustainable Development, IBRD, Washington, DC, September 30-October 1. 1993.
- PEZZEY, J. *Sustainable Development Concepts*. An Economic Analysis. World Bank Environment Paper Number 2, World Bank, Washington, DC, 71pp. 1992.
- PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A The relative importance

- of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, v.7, p.205-212. 2001.
- PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and Southern Oscillation. Academic Press, Londres, 289pp. 1990.
- SERVAIN, J.; LEGLER, D.M. Empirical orthogonal function analyses of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. *Journal of Geophysical Research*, 91(C12), v.14, p.181-14,191, 1986.
- SUN, L.; LI, H.; WARD, M. N.; MONCUNNIL, D. F. Climate variability and rainfed agriculture in Ceará Brazil. Submetido ao *Journal of Applied Meteorology*. 43p. 2005.
- SUN, L.; MONCUNNIL, D. F.; LI, H.; MOURA, A. D.; FILHO, F. D. D. S. Climate downscaling over Nordeste Brazil using NCEP RSM97. *Journal of Climate*, v.18, p.551-567. 2005.
- SVEDIN, U. The concept of sustainability. In: *Perspectives of Sustainable Development*. Stockholm Studies in Natural Resources Management, No. 1, Stockholm, pp. 1-18. 1988.
- Task Commite on Sustainability Criteria, Water Resoureces Planning and Management Division, ASCE and Working Group, UNESCO/IHP IV Project M-4.3. Sustainability Criteria for Water Resources Systems. 253p. 1998.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). Rio de Janeiro, Brazil, 3-4 June. 1992.
- WANG, C. Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscilation. *Journal of Climate*, v.13, p.3969-3993. 2002a.
- WANG, C. Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells. *Journal of Climate*, v.15, p.1516-1536. 2002b.
- WECD (World Commission on Environment and Development). *Our Common Future*. ("The Brundland Report"). Oxford University Press, 383pp. 1987.