

Análise da Precipitação utilizando Teste de Hipótese e Simulação dos Fluxos Energéticos para o Projeto da Transposição do Rio São Francisco

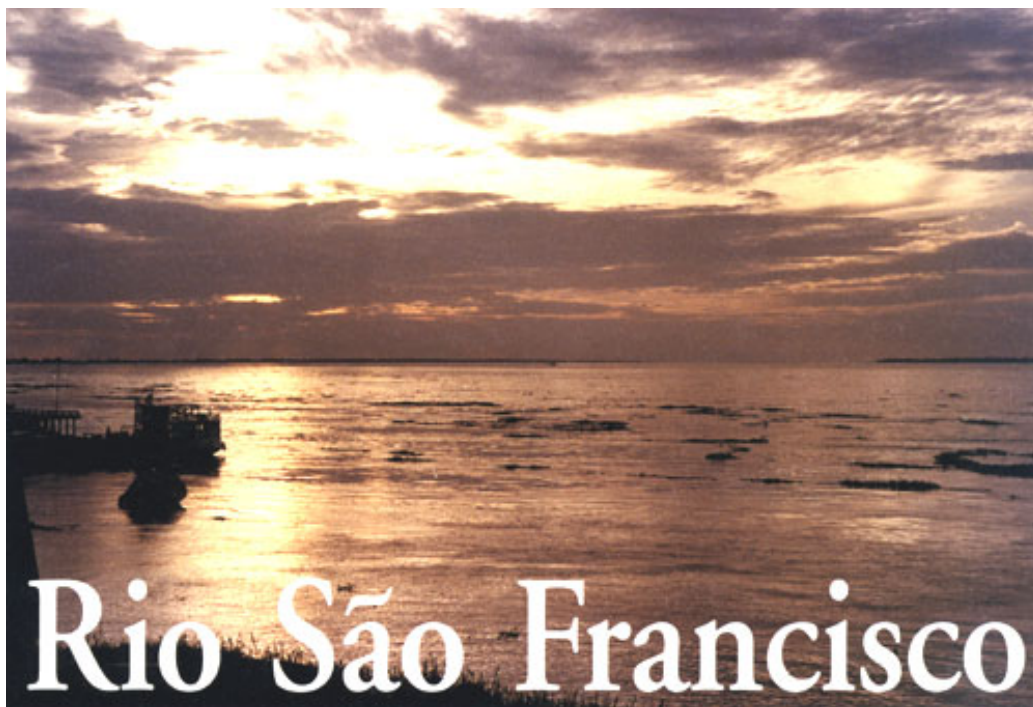


Foto: Roberto Malvezzi.

As adversidades climáticas têm gerado, com frequência, eventos hidrológicos extremos de precipitação, enchentes e secas, podendo influenciar negativamente no desenvolvimento sócio-econômico de uma dada região. O interesse hídrico desenvolvimentista concentrou-se na região nordeste do Brasil. Por sua vez, o projeto de transposição das águas do rio São Francisco tem merecido, desde longa data, a atenção da sociedade brasileira como uma possível solução para tal desafio.

INTRODUÇÃO

O estudo do ciclo hidrológico é importante, tendo em vista que a água é, de fato, embora não sempre explicitado, o elemento essencial no desenvolvimento das várias civilizações humanas. O Brasil, por sua vez, é privilegiado quando o assunto é recursos hídricos. Estima-se que o país possua aproximadamente 12% de toda água doce disponível para o uso humano no mundo. No entanto, sofre com o desequilíbrio entre a oferta e a demanda, o desperdício e a poluição ambiental.

No Nordeste, em particular, o regime pluviométrico irregular, tanto no espaço quanto no tempo, tem levado a que o índice médio de desenvolvimento (IDH - Organização das Nações Unidas) da região não tenha apresentado evolução significativa ao longo das últimas décadas. Nesse contexto, ganha relevância a discussão do projeto de transposição de águas da bacia do rio São Francisco para o nordeste setentrional sob a perspectiva meteorológica, até o momento pouco estudado.

A identificação das componentes do balanço de energia junto à superfície terrestre a partir da radiação solar disponível é fundamental para estudos da natureza do projeto de transposição proposto. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar os fluxos de calor latente e sensível nas regiões doadoras e receptoras do projeto de transposição de águas da bacia do rio São Francisco através do uso do modelo regional atmosférico RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) no período de El Niño¹. Como também analisar a hipótese de estacionariedade² para as séries temporais de precipitação.

ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo tem sua área definida no domínio: 35°W a 46°W e 2°S a 15°S, tendo o Nordeste e parte do oceano Atlântico como domínio. Essas simulações foram feitas para a latitude de 9°S, região de captação de água, e 5°S, região receptora de água (Figura 1).



Figura 1 - Representação dos municípios situados nas latitudes 11°S, 9°S, 7°S e 5°S.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Na região de estudo são encontradas três tipologias climáticas, de acordo com a classificação de Wladimir Köppen (1948): (a) Cwb – clima temperado brando com verão ameno (temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C) e inverno brando (temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C); a estação seca é coincidente com o inverno; (b) Cwa – clima temperado brando com verão quente (temperatura média do mês mais quente superior a 22°C) e inverno brando

(temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C); (c) Aw – clima tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso (temperatura média do mês mais frio é sempre superior a 18°C); esse tipo climático ocorre nas demais áreas da sub-bacia.

MODELAGEM ATMOSFÉRICA

No caso deste estudo, optou-se pelo uso do modelo RAMS, versão 3.b, com vistas a melhor compreender os fluxos de calor sensível e latente num período de El Niño (1983) para o mês de abril. A escolha do mês de abril fundamenta-se no fato de ser um mês pertencente à estação chuvosa em que o fenômeno El Niño interfere de forma mais severa nos volumes de água disponíveis nos trechos do sub-médio e baixo São Francisco.

A cobertura do solo empregada é classificada como tipo semi-deserto, com umidade volumétrica de 25% e com textura do tipo argilo-arenosa. A formulação adotada foi a não hidrostática. Foram ativadas as seguintes parametrizações³: radiação de onda curta e longa; cúmulos; solos e vegetação; difusão turbulenta e microfísica de nuvens.

Na Tabela 1, tem-se a configuração espacial e temporal das simulações feitas no trabalho, enquanto, na Tabela 2 apresenta-se dimensão da grade vertical das simulações.

Tabela 1 – Configuração espacial e temporal da simulação.

Grade	Δx (m)	Δy (m)	Δt (s)	Pontos em x	Pontos em y	Domínio
1	40000	40000	60	36	36	NE e parte do oceano Atlântico.

Tabela 2 – Configuração vertical da simulação.

Nº de níveis em z	28
Δz (mínimo)	60
Δz (máximo)	1200
Fator de crescimento	1.2

TESTE DE HIPÓTESE

Essa hipótese foi avaliada através do teste estatístico Wilcoxon ou Mann Whitney ou teste u (BRADLEY, 1968), ao nível de confiança de 95%. Foi feita a avaliação da estacionariedade regional da bacia.

¹ Fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico, e que pode afetar o clima regional e global.

² É uma decisão feita pelo analista, a fim de verificar a adequação do modelo à realidade a ser investigada.

³ Processo que define ou decide os "parâmetros" – normalmente de algum modelo – que são evidentes à questão que está sendo perguntada desse modelo.



Sob a hipótese nula de estacionariedade de toda a bacia e assumindo-se a independência entre as séries dos diversos postos pluviométricos, o número de séries rejeitadas em um teste a um nível de significância α é uma variável aleatória com distribuição de probabilidade binomial de média $np\alpha$, onde np é o número total de postos. A probabilidade de que muitos postos sejam rejeitados nos testes cresce à medida que alguma sub-região da bacia, ou toda, sofra efeitos não estacionários significativos. A seguir, apresenta-se o modo de condução do teste:

- Hipótese nula: há estacionariedade regional;
- Hipótese alternativa: não há estacionariedade regional;
- Nível de significância: $\alpha=0,05$;
- Critério: aceita a hipótese nula se $A>0,05$.

$$A = \sum_{i=nr}^{i=np} \left[\binom{np}{i} (\alpha)^i (1-\alpha)^{np-i} \right]$$

onde A - probabilidade de que nr ou mais postos sejam rejeitados; nr - número de postos rejeitados no teste de estacionariedade; np - número total de postos; α - nível de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento dos fluxos de energia é condição de contorno importante na distribuição de energia radiativa absorvida na superfície do solo sob as formas de calor sensível (H) e latente (LE).

As características termodinâmicas da atmosfera influenciam na distribuição dos fluxos em superfície.

As Figuras 2 e 3 estão relacionadas aos fluxos de calor sensível, enquanto as Figuras 4 e 5 ilustram o comportamento dos fluxos de calor latente. As configurações dos fluxos de calor sensível e latente foram determinadas para as regiões doadora e receptora respectivamente.

Existe, possivelmente, uma diferença significativa nos fluxos de calor sensível entre as áreas de planaltos e as áreas planas, diretamente relacionadas com a taxa de radiação solar recebida na superfície do solo. Destaca-se um valor mais acentuado na região entre 36°W e 43°W na maior parte do período analisado (Figura 2). Já na latitude de 5°S (Figura 3), houve uma suave redução, com os mais valores sendo registrados entre 38°W e 43°W.

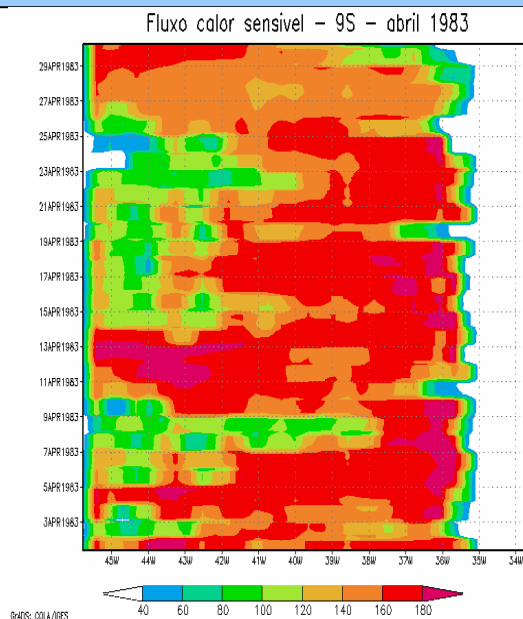


Figura 2 - Simulação do fluxo de calor sensível diário (W/m^2) na latitude de 9°S para o mês de abril no ano de 1983.

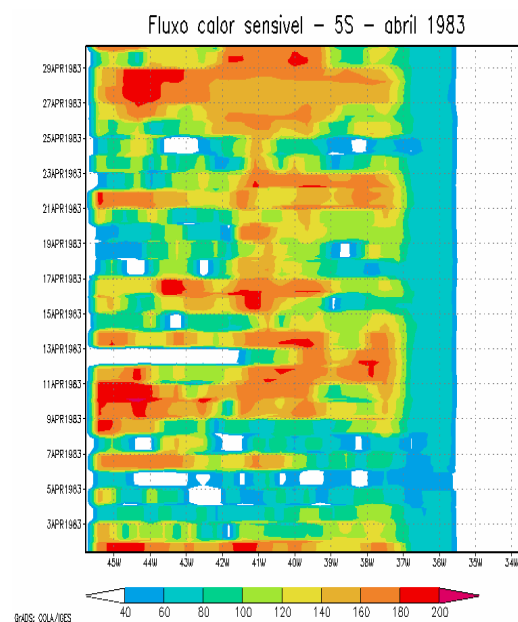


Figura 3 - Simulação do fluxo de calor sensível diário (W/m^2) na latitude de 5°S para o mês de abril no ano de 1983.

Para esses cenários simulados, destaca-se a importância e a influência da intensidade do fenômeno climatológico El Niño de 1983. Embora a umidade do solo constitua-se em variável de estado importante no balanço de energia à superfície, destaca-se que, na presente avaliação, a umidade do solo foi considerada a mesma nas regiões doadora e receptora do projeto.

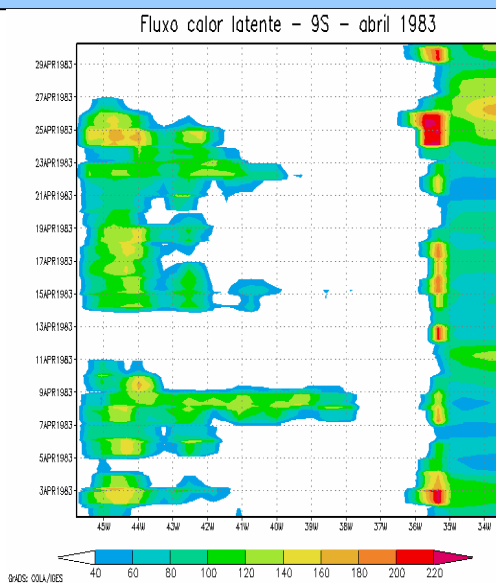


Figura 4. Simulação do fluxo de calor latente diário (W/m^2) na latitude de $9^{\circ}S$ para o mês de abril no ano de 1983.

Observa-se nas Figuras 4 e 5 a importância do teor de umidade do solo nos cenários simulados, uma vez que se encontrou uma maior concentração de fluxo de calor latente diário na costa do nordeste brasileiro ($36^{\circ}W$) e parte do oceano Atlântico ($33^{\circ}W$ a $36^{\circ}W$), na época de El Niño.

Por outro lado, note-se que, na região receptora (Figura 5), houve concentrações maiores nos fluxos de calor latente por toda área, quando se compara com os resultados obtidos para a região doadora (Figura 4). Registre-se que, nas simulações feitas, os resultados obtidos indicam maior umidade atmosférica na região receptora.

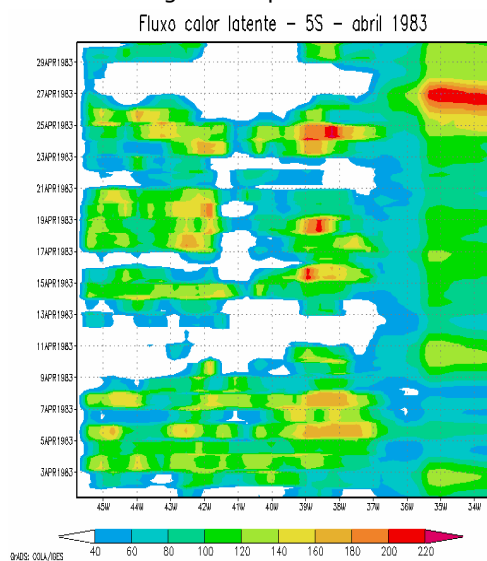


Figura 5 - Simulação do fluxo de calor latente diário (W/m^2) na latitude de $5^{\circ}S$ para o mês de abril no ano de 1983.

A expectativa inicial era de que o semi-árido setentrional, que abrange a região receptora, tivesse menor disponibilidade de umidade. Essa expectativa foi refutada pelos resultados simulados. Os resultados mostraram a aceitabilidade da hipótese nula de estacionariedade dos dados pluviométricos bem como a hipótese de estacionariedade regional ao nível de confiança de 95%.

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mencionado previamente, o objetivo deste trabalho foi simular os fluxos de energia nas regiões doadoras e receptoras de águas da bacia do rio São Francisco durante um período de evento climático El Niño, como verificar a estacionariedade da bacia. Um resultado importante a ser destacado é o fato de que a pouca umidade encontrada no solo do nordeste brasileiro não está necessariamente ligada ao baixo teor de umidade na atmosfera e sim aos mecanismos atmosféricos atuantes.

O trabalho procura evidenciar que é necessário adotar um maior rigor científico nas versões até o momento veiculadas, por diferentes meios de comunicação, sobre a disponibilidade de água nas regiões previstas como doadora e receptora no âmbito do projeto de transposição de águas da bacia do rio São Francisco. Essa afirmativa sustenta-se no fato de que a discussão ainda não incorporou de forma adequada o estudo meteorológico das regiões previstas como doadora e receptora.

REFERÊNCIAS:

BRADLEY, 1968. **Distribution-Free Statistical Tests**. Prentice Hall, Chapter 12.

Para Saber Mais:

MARQUES DA SILVA, A. P. L., 2004. **Avaliação Hidrológica e Meteorológica para a Transposição de Águas da Bacia do Rio São Francisco**. Tese de Doutorado, Curso Interdisciplinar de Ciências Atmosféricas, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, 268 p. Disponível na página eletrônica http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_content&task=view&id=1269&Itemid=31.

Ana Paula Lima Marques Fernandes

Engenheira Civil. Mestra em Meteorologia pela UFPB/CG, e Doutora em Ciências Atmosféricas em Engenharia pela COPPE/UFRJ. Coordenadora do Curso de Sistemas de Informação da Faculdade de Alagoas (FAL).

