

Análisis de la Precipitación utilizando Teste de Hipótesis y Simulación de los Flujos Energéticos para el Proyecto de Transposición del Río San Francisco

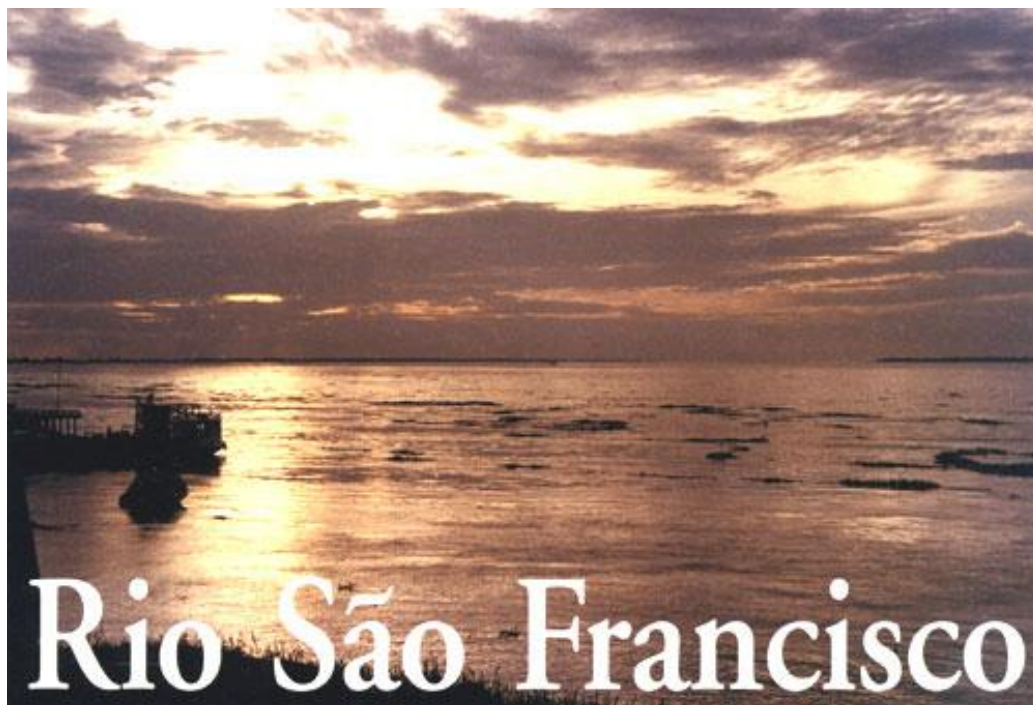


Foto: Roberto Malvezzi.

Las adversidades climáticas tienen generado, con frecuencia, eventos hidrológicos extremos de precipitación, inundaciones y sequías, pudiendo influenciar negativamente el desarrollo socio-económico de una dada región. El interés hídrico del desarrollo se concentró en la región nordeste de Brasil. Por su vez, el proyecto de transposición de aguas del río San Francisco tiene merecido, desde larga fecha, la atención de la sociedad brasileña como una posible solución para tal desafío.

INTRODUCCIÓN

El estudio del ciclo hidrológico es importante debido que el agua es, de hecho, aunque no siempre explicitado, el elemento esencial en el desarrollo de los seres humanos de varias civilizaciones. Brasil, por su vez, es privilegiado cuando el tema es recursos hídricos. Estimase que el Brasil posee aproximadamente 12% de todo el agua dulce disponible para el uso humano en el mundo. Sin embargo, sufre con el desequilibrio entre la oferta y la demanda, el desperdicio y la contaminación ambiental.

En nordeste, particularmente, el régimen pluviométrico irregular, tanto en el espacio cuánto en el tiempo, él ha llevado que el índice promedio del desarrollo (IDH - organización de Naciones Unidas) de la región no ha presentado la evolución significativa a través de las décadas pasadas. En este contexto, gana importancia la pelea del proyecto de transposición del agua de la cuenca del río San Francisco para el nordeste septentrional bajo la perspectiva meteorológica, hasta el momento poco estudiado.

La identificación de los componentes del balance de energía junto a la superficie terrestre a partir de la radiación solar disponible es básica para los estudios de la naturaleza del proyecto de la transposición propuesto. En esta dirección, el objetivo de este trabajo fue analizar los flujos del calor latente y sensible en las regiones donadoras y receptoras del proyecto de transposición del agua de la cuenca del río San Francisco con el uso del modelo regional atmosféricos RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) en el período El Niño¹. Así como analizar la hipótesis de estacionariedad para las series temporales de precipitación

ÁREA DE ESTUDIO

La región del estudio tiene su área definida en el dominio: 35°W 46°W y 2°S 15°S, con la región Nordeste y parte del Océano Atlántico como dominio. Estas simulaciones han sido hechas para la latitud de 9°S, región de la captación del agua, y 5°S, la región receptora del agua (Figura 1).



Figura 1 - Representación de las ciudades situadas en latitudes 11°S, 9°S, 7°S e 5°S.

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En la región estudiada tres tipologías climáticas se encuentran, de acuerdo con la clasificación de Wladimir Köppen (1948): (a) Cwb – clima templado brando con verano ameno (temperatura media inferior por mes más caliente inferior a 22°C) y invierno brando (temperatura media del mes más frío inferior a 18°C); la estación de sequía es coincidente con el invierno; (b) Cwa – clima templado brando con verano caliente (temperatura media del mes más caliente superior a 22°C) y invierno brando (temperatura media del mes más frío

¹ Fenómeno atmosférico-oceánico caracterizado por un calentamiento anormal de aguas superficiales en océano Pacífico, y que puede afectar el clima regional y global.

inferior a 18°C); (c) Aw - clima tropical lluvioso, caliente y húmedo, con invierno seco y verano lluvioso (temperatura media del mes más frío es superior a 18°C); este tipo de clima ocurre en varias áreas de la sub-cuenca.

MODELAJE ATMOSFÉRICA

En este estudio fue optado al uso del modelo RAMS (versión 3.b), con objetivo de mejorar la comprensión de los flujos de calor sensible y latente en un evento de El Niño (1983) para abril. La opción del mes de abril se basa en el hecho de ser un mes que pertenece a la estación lluviosa adonde el fenómeno El Niño interfiere de forma más severa en los volúmenes disponibles de agua en los tramos sub-medio y bajo del San Francisco.

La cobertura del suelo empleada se clasifica como tipo semi-desierto, con la humedad volumétrica de 25% y la textura del tipo argila-arenoso. La formulación adoptada fue a no-hidrostática. Las parametrizaciones² siguientes fueran activadas: radiación de onda corta y larga; cúmulos; suelos y vegetación; difusión turbulenta y microfísica de nubes.

En Tabla 1, se tiene la configuración espacial y temporal de las simulaciones realizadas en esto estudio, mientras, en la Tabla 2 presentase la dimensión de la grade vertical de las simulaciones.

Tabla 1 – Configuración espacial y temporal de la simulación.

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.

Tabla 2 – Configuración vertical de simulación.

Nº de niveles en z	28
Δz (mínimo)	60
Δz (máximo)	1200
Factor de crecimiento	1.2

TESTE DE HIPÓTESIS

Esa hipótesis fue evaluada a través del teste estadístico Wilcoxon o Mann Whitney o teste u (BRADLEY, 1968), al nivel de confianza de 95%. Ha sido hecha la evaluación de estacionariedad regional de la cuenca.

² Processo que define ou decide os "parâmetros" – normalmente de algum modelo – que são evidentes à questão que está sendo perguntada desse modelo.



Bajo la hipótesis nula del estacionariedad de toda la cuenca y se asume la independencia entre las series de diversas estaciones pluviométricas, el número de series rechazadas en un teste a un nivel de significancia α es una variable aleatoria con distribución de probabilidad binomial de media $np \alpha$, donde np es el número total de estaciones. La probabilidad de que muchas estaciones sean rechazadas en los testes crece a la medida que alguna sub-región de la cuenca, o toda, sufre efectos no-estacionarios significativos. A seguir, se presenta el modo de la conducción del teste:

- Hipótesis nula: hay estacionariedad regional;
- Hipótesis alternativa: no hay estacionariedad regional;
- Nivel de significancia: $\alpha=0,05$;
- Criterio: admite la hipótesis nula se $A>0,05$.

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

donde A - probabilidad de que nr o más estaciones sean rechazados; nr - número de estaciones rechazados en el teste de estacionariedad; np - número total de estaciones; α - nivel de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de los flujos de energía es condición del contorno importante en la distribución de energía radiativa absorbida en superficie del suelo bajo las formas de calor sensible (H) y latente (LE). Las características termodinámicas de la atmósfera influyen en la distribución de los flujos en superficie

Las Figuras 2 y 3 se relacionan con los flujos de calor sensible, mientras que las Figuras 4 y 5 ilustran el comportamiento de flujos de calor latente. Las configuraciones de los flujos de calor sensible y latente fueran fijadas para regiones donadoras y receptoras.

Posiblemente hay una diferencia significativa en los flujos del calor sensible entre las áreas llanas, relacionadas directamente con la tasa de radiación solar recibida en la superficie del suelo. Destacase un valor más acentuado en la región entre 36°W y 43°W para mayor parte del período analizado (Figura 2). Ya en la latitud de 5°S (Figura 3), hubo una reducción suave, con mayores valores siendo colocados entre 38°W y 43°W.

Flujo calor sensible - 9S - abril 1983

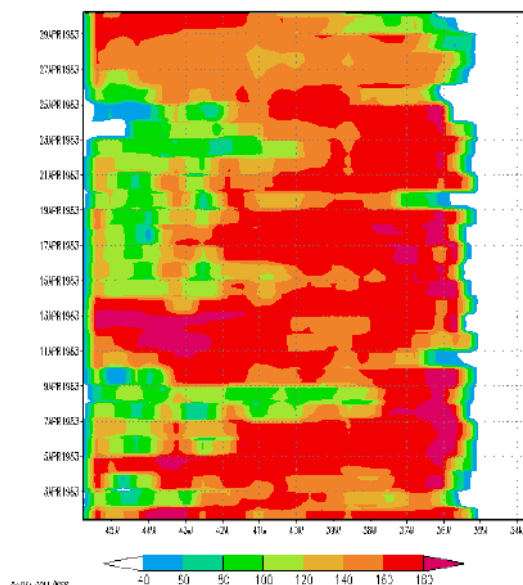


Figura 2 - Simulación del flujo de calor sensible diario (W/m²) en la latitud de 9°S para abril en el año de 1983.

Flujo calor sensible - 5S - abril 1983

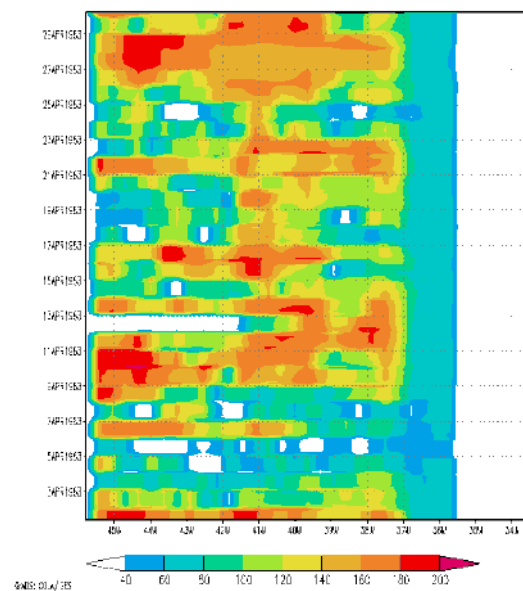


Figura 3 - Simulación del flujo de calor sensible diario (W/m²) en latitud de 5°S para el mes de abril en 1983.

Para estos escenarios simulados, es distinguida la importancia y la influencia de la intensidad del El Niño del fenómeno climatológico de 1983. Aunque la humedad del suelo consiste en una variable de estado importante en el balance de energía a la superficie, es distinguido que, en la actual evaluación, la humedad del suelo fue considerada la misma en las regiones donadoras y receptoras del proyecto.

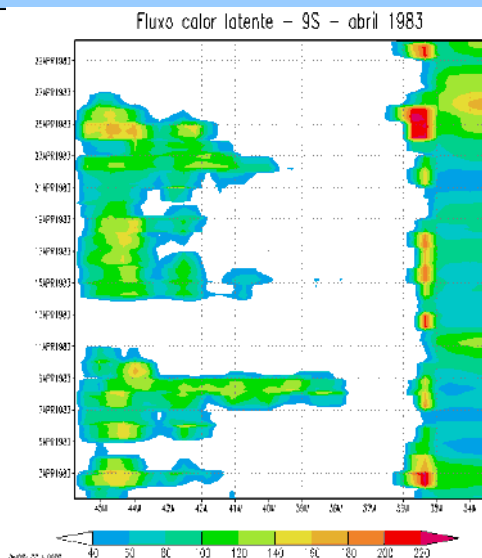


Figura 4. Simulación del flujo de calor latente diario (W/m^2) en la latitud de $9^{\circ}S$ para mes de abril en el año de 1983.

Se observa en las Figuras 4 y 5 la importancia del contenido de la humedad del suelo en los escenarios simulados, una vez que si encontró una concentración más grande de flujo del calor latente diario en la costa del nordeste brasileño ($36^{\circ}W$) y parte del Océano Atlántico ($33^{\circ}W$ $36^{\circ}W$), en la época del El Niño.

Por otra parte, se nota que, en la región receptora (Figura 5), tenía concentraciones más grandes en los flujos de calor latente para toda el área, cuando se compara con los resultados conseguidos para la región donadora (Figura 4). Se coloca que, en las simulaciones hechas, los resultados conseguidos indican mayor humedad atmosférica en la región receptora.

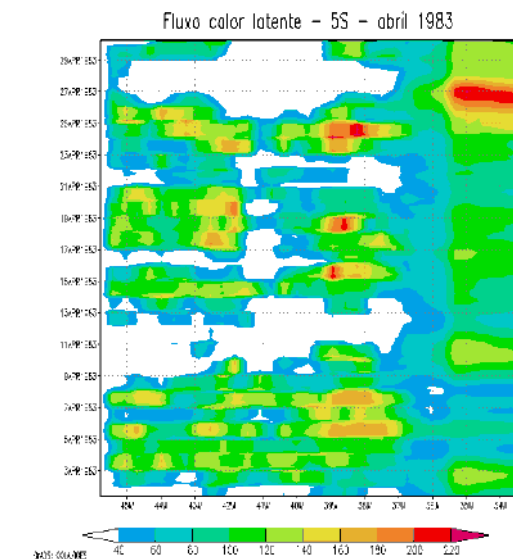


Figura 5 - Simulación del flujo de calor latente diario (W/m^2) en la latitud de $5^{\circ}S$ para abril de 1983.

El interés inicial era que el semi-árido septentrional, incluyendo la región receptora, tenía disponibilidad menor de humedad. Esta expectativa fue refutada por los resultados simulados. Los resultados demostraron la aceptabilidad de la hipótesis nula de estacionariedad de los datos pluviométricos así como la hipótesis de la estacionariedad regional al nivel de confianza de 95%

CONCLUSIÓN Y CONSIDERACIONES

Como dicho previamente, el objetivo de este trabajo fue simular los flujos de energía en las regiones donadoras y receptoras de aguas de la cuenca del río San Francisco durante un período de evento climático El Niño, como verificar el la estacionariedad de la cuenca. Un resultado importante a ser destacado es el hecho de que a poca humedad encontrada en suelo del nordeste brasileño no está necesariamente ligada al contenido bajo de humedad en la atmósfera y sí a los mecanismos atmosféricos actuantes.

El trabajo busca evidenciar que es necesario adoptar un mayor rigor científico en las versiones hasta el momento publicadas, por los medios de comunicación, sobre la disponibilidad de agua en regiones previstas como donadora y receptora en el ámbito del proyecto de transposición de aguas de la cuenca del río San Francisco. Esa afirmativa sustentase en el hecho de que la discusión aún no incorporó de forma adecuada el estudio meteorológico de las regiones previstas como donadora y receptora.

REFERENCIAS:

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 M. Fernandes

Ingeniera Civil. Maestría en Meteorología por UFPB/CG, y Doctorado en Ciencias Atmosféricas en Ingeniería por COPPE/UFRJ. Coordinadora del Curso de Sistemas de Información de Facultad de Alagoas (FAL).

