



Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil



Vicente de P. R. da Silva¹, Maria J. F. Guedes², Wagner F. A. Lima² & João H. B. C. Campos²

¹ DCA/CCT/UFPB. Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande, PB. Fone: (83) 310-1031, Fax: (83) 310-1202. E-mail: vicente@dca.ufpb.br (Foto)

² Graduando em Meteorologia na UFPB. Bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC)

Protocolo 062 - 1/12/2000

Resumo: Em sistema de sequeiro, o rendimento das culturas é altamente dependente das interações entre suas fases fenológicas e as variações climáticas provocadas principalmente pela irregularidade do regime pluviométrico. Nesse estudo foram utilizadas as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico e os rendimentos anuais das culturas de feijão, milho, algodão herbáceo e mandioca, cultivadas em sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, nos anos agrícolas de 1974 a 1996. Obtiveram-se modelos de previsão de rendimento das culturas de sequeiro em função dos fenômenos oceânicos El Niño e Dipolo do Atlântico, utilizando-se apenas as anomalias significativas de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, caracterizadas pelos picos superiores a 0,5 do desvio-padrão da série no período de novembro a março. Os resultados evidenciaram que esses modelos poderão ser utilizados com razoável precisão na identificação da tendência de rendimento das culturas de sequeiro e na elaboração de estratégias de combate aos impactos das secas na agricultura de subsistência do Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: anomalias de TSM, rendimento de culturas, modelo de previsão

A forecast model for yield of rainfed crops grown in semi-arid Northeast Brazil

Abstract: The crop yield in a semi-arid region is highly dependent on the interactions between their phenological phases and the climatic variations of the area. In this study sea surface temperature (SST) anomalies of the Atlantic and Pacific oceans and annual yield of crops bean corn, cotton and cassava cultivated in the semi-arid region of Northeast Brazil were used, corresponding to the agricultural period from 1974 to 1996. Considering only the statistically significant anomalies of SST of the Atlantic and Pacific oceans in the period from November to March, models for forecasting yields of these crops in a semi-arid region as a function of the oceanic phenomena El Niño and Atlantic Dipolo were determined. The results suggested that such models could be used with reasonable accuracy in the identification of strategies for reduction of the impacts of the climatic variations on yields in the semi-arid region of Northeast Brazil.

Key words: SST anomalies, crop yield, forecast model

INTRODUÇÃO

A parte semi-árida da região Nordeste do Brasil, com cerca de 15 milhões de habitantes, é extremamente vulnerável às variações climáticas; a periodicidade das secas afeta principalmente a agricultura de subsistência que, na maior parte, se constitui de plantios em sistema de sequeiro. Segundo Silva (1992) o regime de precipitação pluvial nessa extensa área depende de vários sistemas atmosféricos que atuam na costa leste do Nordeste, sendo mais freqüentes os seguintes: zona de convergência intertropical, brisas marítimas e terrestres, frentes frias, ciclones na alta troposfera e ondas de leste.

A atmosfera sobre a região Nordeste do Brasil apresenta condições médias de estabilidade inibidoras de processos

convectivos de grande escala, provocadas pelo ramo descendente da célula de circulação de Hadley. O anticiclone permanente do Atlântico Sul leva a uma situação média de estabilidade atmosférica, enquanto as perturbações de leste geram instabilidade e chuvas. Na costa do Nordeste brasileiro ocorre formação de nuvens decorrentes de brisa marítima, provocando chuvas na região litorânea e, às vezes, no interior, quando uma linha de instabilidade se propaga na direção oeste. O fenômeno oceânico Dipolo é determinado pelas anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Sul e Norte, enquanto o El Niño pelo aquecimento anômalo das águas do oceano Pacífico tropical (Aragão, 1986). Os modelos que envolvem essas anomalias são utilizados para explicar e prever as instabilidades climáticas que afetam a região Nordeste do Brasil (Moura & Shukla, 1981).

A seca constitui um fenômeno climático de conseqüências desastrosas para a economia dessa região. Pesquisadores de várias partes do mundo têm sua atenção voltada para esse problema, na tentativa de explicar e prever as anomalias climáticas que afetam a região. Alguns especialistas acreditam que, para viabilizar a agricultura de sequeiro e a economia do Nordeste, deverão ser introduzidas e difundidas culturas mais resistentes às longas estiagens, tais como o sorgo, milheto, soja, algodão, gergelim e mamona, entre outras. Essas culturas são consideradas mais resistentes às variações climáticas do semi-árido, além de apresentarem baixa exigência hídrica. Neste particular, a política de desenvolvimento do Nordeste deve contemplar, além da análise dos efeitos das variações climáticas na região a prática da agricultura irrigada.

Segundo Araújo Filho et al. (1987) a seca não afeta apenas o setor rural, uma vez que a economia nordestina é dependente do setor primário. A escassez de matérias-primas, o desemprego nas indústrias, a diminuição do consumo, a retração da demanda dos serviços e a queda na arrecadação tributária, são alguns exemplos da extensão da problemática gerada pelas secas sobre os diversos setores da economia nordestina. As secas do período 1974-1987 provocaram um prejuízo à agricultura da região de 26,3 milhões de toneladas de grãos, que correspondem a mais de US\$ 20 bilhões.

Fontana & Berlato (1996) analisando a influência do fenômeno El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) sobre a precipitação e o rendimento do milho no Estado do Rio Grande do Sul, verificaram que a variabilidade da precipitação pluvial está relacionada ao ENOS e que o mesmo exerce influência sobre o rendimento dessa cultura no Estado. Posteriormente, Hurtado & Berri (1998) com base na produção da cultura de trigo e nas anomalias de TSM da região Niño 3 do Oceano Pacífico, encontraram relação positiva entre os desvios do rendimento dessa cultura, cultivada na região Sudoeste da província de Buenos Aires, na Argentina, e anomalias de TSM do oceano Pacífico.

De acordo com Rolim (1997) a região Nordeste do Brasil pode ser dividida, segundo as suas características econômicas próprias, em três grandes áreas: zona úmida litorânea, agreste e sertão. A zona úmida litorânea, onde a precipitação pluvial excede 1.500 mm ano⁻¹, é a grande produtora de cana-de-açúcar e de alimentos, a mais capitalizada e a que emprega maior quantidade de mão-de-obra. Ressalta-se ainda o fato dos grandes centros urbanos estarem localizados nessa região devido à sua posição geográfica. As duas últimas se localizam na parte semi-árida, onde a agricultura de subsistência é amplamente praticada. O agreste tem, como principal atividade econômica, juntamente com a pecuária leiteira, a produção de alimentos e algodão. O sertão se caracteriza pela pecuária exercida extensivamente, com emprego de pouca mão-de-obra, que conjuga suas atividade com a plantação de roçados, fornecedores de alimentos para a subsistência de sua população rural.

A produtividade de culturas em sistema de sequeiro é altamente dependente das interações entre suas fases fenológicas e as variações interanuais do tempo e clima. Toda cultura plantada nesse sistema depende, inevitavelmente, da quantidade, da distribuição e da intensidade das chuvas. Por outro lado, os fenômenos El Niño e Dipolo influenciam os totais pluviométricos do Nordeste brasileiro; em conseqüência,

contribuem nas variações do rendimento das culturas de subsistência. Existem vários estudos que relacionam as anomalias de temperatura da superfície do oceano Pacífico e rendimento de culturas de sequeiro (Rao et al., 1997; Silva et al., 1998); entretanto, poucos se destinam à análise do relacionamento entre o rendimento das culturas de subsistência, tradicionalmente plantadas do Nordeste do Brasil, e a combinação das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico. Neste contexto, o presente trabalho objetiva determinar modelos de previsão de rendimento das culturas de algodão herbáceo, milho, feijão e mandioca tradicionalmente cultivadas em sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, em função dos fenômenos oceânicos El Niño e Dipolo do Atlântico.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se, neste trabalho, as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico e os rendimentos das culturas de feijão, milho, algodão herbáceo e mandioca, cultivadas em sistema de sequeiro, nos Estados da Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Alagoas, Sergipe e Bahia. Os dados analisados referem-se aos anos agrícolas compreendidos no período de 1974 a 1996. Utilizando-se o mesmo procedimento proposto por Roucou et al. (1996), o Dipolo foi determinado pela diferença entre as anomalias de TSM do Atlântico Sul (15° S - 5° W) e Atlântico Norte (15° N - 45° W); por outro lado, o sinal do El Niño foi obtido com base nas anomalias de TSM do oceano Pacífico tropical, da região denominada Niño 3, a qual compreende um retângulo entre as longitudes 150°W e 90°W e as latitudes 5° N e 5° S, e é a que melhor se relaciona com chuvas no Nordeste do Brasil (Aragão, 1986). Os dados de rendimento das culturas foram obtidos no Anuário Estatístico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, no site da NOAA/ 'Climate Prediction Center'. As médias das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, correspondentes ao período de cinco meses, foram correlacionadas, através do método dos mínimos quadrados, com desvios normalizados dos rendimentos anuais das culturas de feijão, milho, algodão herbáceo e mandioca. Por fim, foram utilizadas as médias do rendimento dos períodos: novembro - março (Nov/Mar), dezembro - abril (Dez/Abr), janeiro - maio (Jan/Mai) e de fevereiro - junho (Fev/Jun) na análise de correlação com anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, enquanto os desvios normalizados dos rendimentos das culturas (R_n) foram obtidos com base na expressão:

$$R_n = \frac{R_c - \bar{R}_c}{\sigma} \quad (1)$$

em que:

- R_c - rendimento anual, kg ha⁻¹
- \bar{R}_c - rendimento médio, kg ha⁻¹
- σ - desvio-padrão, kg ha⁻¹

O nível de significância dos coeficientes de correlação entre os desvios normalizados dos rendimentos das culturas e

anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, foi verificado através do teste unilateral da distribuição de Student (t), em níveis de 5 e 1% de probabilidade, da seguinte forma:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

em que:

- r - coeficiente de correlação
n - número de dados

Após identificada a média do período que melhor se correlacionou com rendimento das culturas, aplicou-se um “filtro” nas séries de anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, com o objetivo de se eliminar os valores que, efetivamente, não corresponderam a “sinal” mas, de fato, a “ruídos”. Esse procedimento também foi utilizado por Roucou et al. (1996) que, correlacionando os totais anuais de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil e os fenômenos El Niño e Dipolo, utilizaram as anomalias de TSM superiores a 0,45 do desvio-padrão; assim, este “filtro”, que se constituiu na eliminação das anomalias de TSM menores em módulo que 0,5 do desvio-padrão, possibilitou a determinação da série de anomalias significativas de TSM dos oceanos. Com base nos dados, determinaram-se os modelos de previsão de rendimento das culturas de feijão, mandioca, milho e algodão herbáceo, em função do El Niño e Dipolo, considerando-se apenas as anomalias significativas de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, através da análise de regressão linear múltipla, da seguinte forma:

$$REN = A_0 + A_1EN + A_2DIP \quad (3)$$

em que:

- REN - rendimento anual de cada cultura, kg ha⁻¹
EN - anomalias de TSM do oceano Pacífico, °C
DIP - anomalias de TSM do oceano Atlântico, °C
A₀, A₁ e A₂ - coeficientes de regressão linear múltipla

O ajuste dos modelos de rendimento foi verificado através da Eq. 2, em níveis de significância de 1 e 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de correlação linear entre as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, sem extração dos ruídos das séries, correspondentes às médias dos períodos de Nov/Mar, Dez/Abr, Jan/Mai e Fev/Jun, e rendimento das culturas de algodão herbáceo, milho, feijão e mandioca, cultivadas em sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, são apresentados na Tabela 1. O relacionamento das culturas estudadas com as anomalias de TSM do oceano Atlântico apresentou correlações significativas, em nível de 1% de probabilidade, nos Estados de Pernambuco, com a cultura de algodão herbáceo (Fev/Jun); Bahia, com as culturas de algodão herbáceo (Nov/Mar) e mandioca (Dez/Abr, Jan/Mai e Fev/Jun) e Maranhão, com as culturas de feijão (Nov/Mar) e mandioca (Nov/Mar e Dez/Abr). Por outro lado, as anomalias de TSM do oceano Pacífico não apresentaram nenhuma correlação nesse nível de significância com nenhuma cultura, nos períodos analisados. Observam-se, ainda, correlações, em nível de 5% de probabilidade, em vários períodos, pelo menos com uma cultura, em todos os Estados

Tabela 1. Coeficientes de correlação linear entre as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico (Atl) e Pacífico (Pac) e os rendimentos de diferentes culturas, sem extração dos “ruídos” das séries de TSM

Período	PB		PE		CE		RN		BA		MA		PI		AL		SE	
	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac
A. Algodão Herbáceo																		
Nov/mar	0,15	0,18	0,14	0,24	0,15	0,02	0,01	0,10	0,56 ²	0,04	0,01	0,01	0,03	0,22	0,26	0,29	0,09	0,40 ¹
Dez/abr	0,05	0,18	0,17	0,27	0,18	0,01	0,11	0,10	0,48 ¹	0,01	0,05	0,02	0,05	0,28	0,33	0,31	0,16	0,38 ¹
Jan/mai	0,05	0,23	0,18	0,31	0,19	0,02	0,16	0,13	0,39 ¹	0,05	0,10	0,05	0,05	0,36	0,34	0,36 ¹	0,22	0,35
Fev/jun	0,48 ¹	0,29	0,58 ²	0,40 ¹	0,21	0,13	0,38 ¹	0,12	0,12	0,09	0,29	0,09	0,38 ¹	0,46	0,01	0,39 ¹	0,47 ¹	0,34
B. Milho																		
Nov/mar	0,34	0,35	0,38 ¹	0,28	0,43 ¹	0,24	0,24	0,32	0,29	0,09	0,48 ¹	0,03	0,41 ¹	0,15	0,33	0,31	0,04	0,04
Dez/abr	0,33	0,30	0,37 ¹	0,28	0,36 ¹	0,24	0,22	0,31	0,27	0,10	0,46 ¹	0,03	0,33	0,14	0,36 ¹	0,30	0,06	0,02
Jan/mai	0,28	0,33	0,31	0,25	0,29	0,21	0,16	0,28	0,24	0,10	0,40 ¹	0,00	0,25	0,12	0,38 ¹	0,26	0,16	0,01
Fev/jun	0,26	0,33	0,05	0,23	0,06	0,19	0,27	0,26	0,14	0,09	0,15	0,02	0,18	0,12	0,04	0,21	0,36 ¹	0,01
C. Feijão																		
Nov/mar	0,17	0,43 ¹	0,39 ¹	0,24	0,33	0,18	0,21	0,21	0,16	0,24	0,51 ²	0,16	0,32	0,32	0,19	0,04	0,09	0,14
Dez/abr	0,14	0,40 ¹	0,38 ¹	0,26	0,29	0,17	0,18	0,19	0,21	0,19	0,48 ¹	0,14	0,30	0,32	0,21	0,04	0,01	0,14
Jan/mai	0,09	0,33	0,32	0,26	0,25	0,14	0,25	0,13	0,20	0,12	0,42 ¹	0,13	0,25	0,30	0,15	0,04	0,09	0,11
Fev/jun	0,34	0,28	0,04	0,25	0,03	0,10	0,19	0,11	0,05	0,01	0,37 ¹	0,12	0,13	0,23	0,05	0,06	0,16	0,05
D. Mandioca																		
Nov/mar	0,09	0,44 ¹	0,25	0,12	0,15	0,22	0,03	0,26	0,49 ¹	0,16	0,54 ²	0,14	0,08	0,01	0,45 ¹	0,01	0,29	0,12
Dez/abr	0,09	0,42 ¹	0,23	0,10	0,16	0,21	0,07	0,27	0,54 ²	0,18	0,50 ²	0,08	0,00	0,01	0,39 ¹	0,01	0,31	0,14
Jan/mai	0,03	0,36 ¹	0,17	0,06	0,14	0,20	0,06	0,26	0,56 ²	0,20	0,47 ¹	0,02	0,06	0,04	0,33	0,01	0,33	0,16
Fev/jun	0,27	0,30	0,04	0,04	0,02	0,17	0,17	0,27	0,53 ²	0,18	0,49 ¹	0,09	0,15	0,08	0,03	0,03	0,34	0,22

¹ Significante em nível de 0,05 de probabilidade

² Significante em nível de 0,01 de probabilidade

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre os rendimentos anuais de diferentes culturas e os fenômenos El Niño e Dipolo, considerando-se as anomalias significativas de TSM dos oceanos Atlântico (Atl) e Pacífico (Pac)

Culturas	PB		PE		CE		RN		BA		MA		PI		AL		SE	
	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac	Atl	Pac
Algodão	0,57 ¹	0,12	0,65 ¹	0,50	0,39	0,13	0,54 ¹	0,48	0,30	0,55 ¹	0,64 ¹	0,38	0,69 ¹	0,49	0,63 ¹	0,39	0,68 ¹	0,41
Milho	0,35	0,55 ¹	0,15	0,57 ¹	0,29	0,03	0,33	0,50	0,53 ¹	0,19	0,16	0,03	0,29	0,39	0,40	0,50	0,49	0,71 ²
Feijão	0,49	0,62 ¹	0,23	0,22	0,45	0,33	0,39	0,46	0,29	0,33	0,29	0,58 ¹	0,27	0,47	0,60 ¹	0,24	0,74 ²	0,59 ¹
Mandioca	0,49	0,69 ¹	0,25	0,64 ¹	0,21	0,76 ²	0,13	0,77 ²	0,85 ²	0,88 ²	0,38	0,44	0,12	0,41	0,34	0,28	0,75 ²	0,55 ¹

¹ Significante em nível de 0,05 de probabilidade² Significante em nível de 0,01 de probabilidade

Tabela 3. Modelos de previsão de rendimento (REN) para diferentes culturas, em função dos fenômenos El Niño (EN) e Dipolo (DIP) considerando-se as anomalias significativas de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, no período de novembro a março, com seus respectivos erros-padrão de estimativa (EPE) e coeficiente de correlação (r)

Estado	Modelo de Rendimento (kg ha ⁻¹) - TSM do Oceano Atlântico			EPE kg ha ⁻¹	r	Modelo de Rendimento (kg ha ⁻¹) - TSM do Oceano Pacífico			EPE kg ha ⁻¹	r
	REN	EN	DIP			REN	EN	DIP		
A. Algodão Herbáceo										
Alagoas	REN = 259,5	- 40,1	EN - 53,2	47	0,63	-	-	-	-	-
Bahia	-	-	-	-	-	REN = 625,7	+ 39,4	EN + 386,7	295	0,55
Maranhão	REN = 271,1	+ 387,3	EN + 917,5	610	0,64	-	-	-	-	-
Paraíba	REN = 233,1	+ 102,5	EN + 340,7	259	0,57	-	-	-	-	-
Pernambuco	REN = 279,1	+ 30,6	EN + 262,8	165	0,65	-	-	-	-	-
Piauí	REN = 329,4	+ 76,2	EN + 280,9	151	0,69	-	-	-	-	-
R. G. Norte	REN = 197,8	+ 104,6	EN + 226,7	204	0,54	-	-	-	-	-
Sergipe	REN = 194,8	- 76,4	EN + 84,1	99	0,68	-	-	-	-	-
B. Milho										
Bahia	REN = 684,1	+ 299,3	EN + 287,9	446	0,53	-	-	-	-	-
Paraíba	-	-	-	-	-	REN = 464,9	- 65,7	EN + 142,5	205	0,55
Pernambuco	-	-	-	-	-	REN = 575,1	- 58,1	EN + 108,6	165	0,57
Sergipe	-	-	-	-	-	REN = 625,7	+ 39,4	EN + 386,7	127	0,71
C. Feijão										
Alagoas	REN = 306,6	+ 86,9	EN + 124,4	114	0,60	-	-	-	-	-
Maranhão	-	-	-	-	-	REN = 474,6	+ 5,4	EN - 85,7	52	0,58
Paraíba	-	-	-	-	-	REN = 239,4	- 27,1	EN + 113,2	93	0,62
Sergipe	REN = 253,3	+ 92,2	EN + 197,4	101	0,74	REN = 237,8	+ 62,3	EN + 182,1	116	0,59
D. Mandioca										
Bahia	REN = 1.4863,5	- 644,64	EN - 3.234,2	1091	0,83	REN = 15.627,84	- 896,83	EN - 4.630,32	850	0,88
Ceará	-	-	-	-	-	REN = 9.720,2	- 475,2	EN - 1.713,5	594	0,76
Paraíba	-	-	-	-	-	REN = 8.863,3	- 107,4	EN + 448,4	301	0,69
Pernambuco	-	-	-	-	-	REN = 9.895,87	- 82,3	EN + 164,8	199	0,64
R. G. Norte	-	-	-	-	-	REN = 8.247,6	+ 305,1	EN + 1.948,8	542	0,77
Sergipe	REN = 13.523,4	+ 1.246,8	EN + 854,12	943	0,75	REN = 12.835,1	+ 546,7	EN + 1.086,1	1109	0,55

do Nordeste, sendo que as maiores foram obtidas com os rendimentos das culturas dos Estados do Maranhão e Bahia e as menores nos Estados de Alagoas e Sergipe, praticamente em todos os períodos analisados. O rendimento da cultura de milho apresentou coeficientes de correlação significativos, em nível de 5% de probabilidade, com TSM do oceano Atlântico nos Estados do Maranhão, Ceará e Alagoas nos períodos de Nov/Mar e Dez/Abr. Considerando-se as anomalias de TSM dos oceanos, esses dois períodos apresentaram maiores correlações, sendo o relacionamento ainda maior com a cultura da mandioca, nos Estados do Maranhão, Paraíba, Bahia e Alagoas, e menor com algodão herbáceo, em praticamente todos os Estados do Nordeste.

Esses coeficientes de correlação não foram satisfatórios para uso em modelo de previsão, devido aos baixos valores dos coeficientes de correlação entre as anomalias de TSM e os rendimentos das culturas mas, quando foi aplicado o “filtro”

nas séries de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, com vistas à extração dos “ruidos” e utilizando-se análise de regressão linear múltipla, observou-se que os coeficientes de correlação entre as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico e os rendimentos normalizados das culturas, apresentaram valores mais elevados (Tabela 2). Considerando-se as anomalias significativas de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, se observa que o relacionamento com a cultura do algodão apresentou correlações significativas em quase todo o Nordeste, exceto no Estado do Ceará; com a cultura de milho observam-se correlações significativas, em nível de 5% de probabilidade, apenas nos Estados da Bahia, Paraíba, Pernambuco e Sergipe. Nos outros Estados do Nordeste o relacionamento entre as variáveis não foi satisfatório. Por outro lado, os rendimentos das culturas da mandioca, nos Estados da Bahia e Sergipe, e de feijão, nos Estados de Sergipe e Alagoas, apresentaram altas correlações com as TSM dos dois oceanos. As anomalias

significativas de TSM do oceano Pacífico produziram o melhor ajuste do modelo de previsão de rendimento da cultura da mandioca para o Estado da Bahia ($r = 0,88$) enquanto com a cultura de algodão herbáceo se obteve coeficiente de correlação de 0,54.

Os modelos de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, em função das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, foram obtidos utilizando-se apenas aqueles que apresentaram coeficientes de correlação significativos a níveis de 1 e 5% de probabilidade. A Tabela 3 exhibe os modelos de previsão de rendimento das culturas de algodão, milho, feijão e mandioca, em função dos fenômenos oceânicos El Niño e Dipolo, plantadas em sistema de sequeiro nos Estados do Nordeste do Brasil. De acordo com os dados analisados e nível de significância aceitável e se considerando significativas apenas as anomalias de TSM do oceano Atlântico, obtiveram-se modelos de previsão de rendimento da cultura do algodão herbáceo para todos os Estados do Nordeste, exceto para a Bahia e Ceará, enquanto que, considerando-se as anomalias significativas do Pacífico, obteve-se modelo de previsão desta cultura apenas para o Estado da Bahia (Tabela 3A). Com base nas anomalias significativas de TSM do oceano Atlântico, obteve-se modelo de previsão de rendimento da cultura do milho apenas para o Estado da Bahia e, com base nas anomalias do oceano Pacífico, obtiveram-se modelos para os Estados da Paraíba, Pernambuco e Sergipe (Tabela 3B). Por outro lado e com base nas anomalias significativas de TSM do oceano Atlântico, foram obtidos modelos de previsão de rendimento da cultura de feijão para os Estados de Alagoas e Sergipe e, considerando-se as anomalias do oceano Pacífico, encontraram-se modelos para os Estados de Maranhão, Paraíba e Sergipe (Tabela 3C). Quando foram consideradas as anomalias significativas de TSM do oceano Atlântico, achou-se o modelo de previsão de rendimento da cultura da mandioca para os Estados da Bahia e Sergipe e para todos os Estados do Nordeste, exceto para o Maranhão e Piauí, levando-se em consideração as anomalias do oceano Pacífico (Tabela 3D).

Os coeficientes de correlação entre as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico e os rendimentos das culturas estudadas, apesar de significativos a níveis de 1 e 5% de probabilidade, são relativamente baixos; entretanto, os modelos gerados podem ser utilizados com razoável precisão, como indicadores de tendência da produtividade das culturas de sequeiro constituindo-se, assim, num instrumento auxiliador na tomada de decisão do planejamento agrícola da região Nordeste do Brasil. De acordo com os dados analisados, as maiores correlações entre os rendimentos das culturas de feijão, milho, mandioca e algodão herbáceo, cultivadas em sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, ocorrem no período de novembro a março. Silva et al. (1998) em estudos realizados com a cultura do algodão herbáceo e TSM do oceano Pacífico, obtiveram resultados semelhantes.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir-se o seguinte:

1. Os modelos de previsão de rendimento, em função dos fenômenos El Niño e Dipolo, poderão ser utilizados na identificação de estratégias de redução dos impactos das variabilidades climáticas no rendimento das culturas de sequeiro no Nordeste do Brasil.

2. O relacionamento dos rendimentos das culturas de feijão, milho, mandioca e algodão herbáceo com as anomalias de TSM do oceano Atlântico, é maior nos Estados da Bahia e Maranhão e menor nos Estados de Alagoas e Sergipe, e o modelo de previsão de rendimento para a cultura da mandioca é mais eficiente no Estado da Bahia que nos demais Estados do Nordeste.

3. O rendimento das culturas de sequeiro no Nordeste do Brasil é melhor relacionado com as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, no período de novembro a março.

LITERATURA CITADA

- Aragão, J.O.R. A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño. Coral Gables: University of Miami, 1986. 144p. PhD Thesis
- Araújo Filho, A.A.; Queiroz, F.A.N. Uma estratégia de convivência com as secas no Nordeste. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v.18, n.4, p.491-511, 1987.
- Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.2, n.1, p.39-46, 1996.
- Hurtado, R.; Berri, G. Relación entre los rendimientos trigueiros y el fenómeno del ENOS en la Argentina pampeana, en el periodo 1970-1997. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, Congresso da Flismet, 8, 1998, Brasília. Anais... Brasília: SBM, 1998. CD-Rom
- Moura, A.D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in North-East Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model, *Journal of Atmospheric Science*, Boston, v.38, p.2653-2675, 1981.
- Rao, V.V.; Sá, L.D.A.; Franchito, S.H.; Hada, K. Interannual variations of corn yields in Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, n.1, n.85, p.63-74, 1997.
- Rolim, C.F.C. Efeitos regionais da abertura comercial sobre a cadeia produtiva do algodão, têxtil, vestuário. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v.28, n. especial, p.185-206, 1997.
- Roucou, P.; Aragão, J.O.R.; Harzallah, A.; Fontaine, B.; Janicot, S. Vertical motion, changes related to northeast Brazil rainfall variability: A GCM simulation. *International Journal of Climatology*, Sheffield, v.16, p.879-891, 1996.
- Silva, V.P.R. Comportamento estatístico de séries temporais de pluviometria no Nordeste do Brasil. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1992. 81p. Dissertação Mestrado
- Silva, V.P.R.; Dantas, R.T.; Cavalcanti, E.P. Influência do fenômeno El Niño no rendimento da cultura de algodão no Estado da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, Congresso da Flismet, 8, 1998, Brasília. Anais... Brasília: SBM, 1998. CD-Rom