

O Ciclo Solar e as Sêcas do Nordeste

(Comunicação prévia ao IV Congresso Latino-Americano de
Astronomia, S. Física do Globo).

R. ARGENTIÈRE

Físico, Eng.^o de Minas

Barbaramente estéreis; maravilhosamente exuberantes... Eis como Euclides da Cunha classifica, em contradição dialética, as terras do Nordeste. De um lado, secas periódicas terríveis; de outro lado, chuvas diluvianas.

O drama mais terrível do Nordeste brasileiro é a ocorrência de secas periódicas. Não se deve confundir esta periodicidade de secas com estiagem. São problemas e termos diferentes. Por exemplo, a W e E do Rio Grande do Norte, Paraíba e centro e SW do Ceará, as chuvas, escassas ao longo do ano, concentram-se no período do verão, seguindo-se logo depois um período seco e rigoroso. É a estiagem. A seca é um período que se verifica quando as chuvas não caem no período costumeiro, no chamado "semestre de verão", ocasionando o prolongamento da estiagem no princípio do ano, seguida de estiagem habitual no restante do período, tendo como resultado final um ano inteiro sem chuvas, o que se pode repetir, sem interrupção, por um, dois ou mais anos. É a seca.

TRADIÇÕES POPULARES

A seca, para o povo Nordestino, representa a tragédia, o destino e a mais cruel prova de sua vida. Porque, quando ela sobrevém, tem de abandonar suas terras ou sobre elas morrer, sedento e faminto.

Para este povo é de grande importância saber se vai ou não haver seca. Todo o seu ciclo vital depende deste conhecimento antecipado. Assim, todos os anos, em épocas certas, procura consultar sua imensa tradição popular, a falta da palavra oficial da Ciência, para fazer um prognóstico. Euclides da Cunha (1) e Câmara Cascudo (2) recolheram várias tradições populares que procuram advinhar o futuro de eventos meteorológicos.

A sabedoria popular reza que quando as chuvas não chegam até o dia 19 de março (dia de S. José), elas não mais virão, começando, então, a seca. Outra tradição muito difundida no Nordeste é colocar ao relento 6 pedrinhas de sal no dia 12 de dezembro (dia de Santa Luzia). Se amanhecem intactas, pressagiam sêcas; se levemente hidratadas, é certa a chuva em janeiro. Esta última observação nada tem de misteriosa, pois, baseia-se no teor de umidade da atmosfera. Existem ainda, outras observações interessantes cujo estudo científico não foi executado, mas que não deixa de ter fundamentos centenários: se as formigas de roça abrem formigueiro nas baixas e leitos dos rios, é certa a seca. Se o joazeiro (*Zizyphus joazeiro*, Mart.), a oiticica (*Phlegarina umbrosissima*), a carnauba (*Copernicia cerifera*, Mart.) florescem cedo, é sinal de inverno — queda abundante de chuvas.

Tôdas estas tradições têm bases em observações da natureza, apesar de sua aparente ingenuidade popular. Mas, os resultados são certos. Tivemos ocasião de observar a exatidão de muitos destas observações durante vários períodos que antecederam as sêcas. A verdade é que o Nordeste, por estas e outras observações, sabe, por antecipação — às vêzes, melhor do que o homem de ciência — quando está para chegar a seca.

ESTATÍSTICA DAS SÊCAS

As pesquisas efetuadas por Euclides da Cunha (3), Mons. Severiano de Figueiredo (4), Felipe Guerra (5), Guimarães Duque (6), Tavares de Lyra (7) e IBGE (8), mostram que as sêcas são tão antigas quão historicamente é antigo o Brasil. A nossa terra foi descoberta em um período de seca. As datas podem ser alinhadas da seguinte forma:

TABELA I

SÊCAS NO NORDESTE BRASILEIRO										
1500	1559	1564	1583	1590	1592					
1600	1603	1614	1615	1651	1652	1691	1692	1693		
1707	1708	1709	1710	1711	1720	1721	1723	1724	1725	1726
1727	1735	1736	1737	1748	1749	1750	1751	1754	1760	1766
1771	1772	1776	1777	1778	1782	1783	1784	1790	1791	1792
1793	1794									
1803	1804	1805	1808	1809	1814	1816	1817	1819	1820	1824
1825	1826	1827	1829	1830	1833	1835	1837	1844	1845	1846
1860	1868	1869	1877	1878	1879	1885	1888	1889	1891	1892
1898	1899									
1900	1902	1903	1904	1907	1908	1915	1919	1930	1932	1933
1936	1941	1944	1951	1953	1958					

Ao todo, o Nordeste registrou, desde 1500 a 1958, 102 anos de sêcas. Estando o Brasil descoberto há 466 anos, o Nordeste ficou livre das sêcas um período de 364 anos, isto é, pouco menos de 24% do período o Nordeste estêve às voltas com a catástrofe das sêcas. No século XVIII, as sêcas estiveram presentes durante 35 anos, isto é, 35% do período. E, no século XIX, também 35 anos, isto é, 35% do período.

Quanta perda de tempo, de vidas humanas, de bens materiais e sociais representaram êstes períodos!... Como não se prestar atenção a um fenômeno que constitui para uma parte da população brasileira um verdadeiro flagelo?

O POLIGONO DAS SÊCAS

Os períodos de sêcas afetam parte ou o todo do N do Estado de Minas Gerais, dos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e parte do Maranhão, formando um imenso polígono — o chamado polígono das sêcas. A fronteira N dêste polígono é o Piauí. Por isto, o povo do Nordeste, diz que quando a sêca entra no Piauí, é sinal de que se estenderá para os outros Estados. Ou, vice-versa, quando as chuvas chegam ao Piauí é sinal de que não haverá sêca naquele ano.

AS SÊCAS SÃO ANTIGAS

Existem várias explicações sôbre a origem dêstes períodos sêcos. Entretanto, não se identificaram até hoje, à luz da Ciência, as causas destas sêcas periódicas no Nordeste brasileiro. O fenômeno não é só brasileiro, afetando uma parte do continente afri-

cano, asiático e até alguns países europeus. As sêcas derrubaram civilizações no decorrer de períodos históricos.

Segundo o geólogo e petrógrafo Djalma Guimarães (9), o fenômeno da sêca é muito velho no Brasil. Segundo a sua reconstituição, a história geológica do Brasil foi uma sucessão de períodos desérticos e frios. Por exemplo, durante todo o cambriano, o continente Arqui-Brasil foi um verdadeiro deserto. De acôrdo com os estudos de Oliveira e Leonardos (10), no fim do permearno já era desértica tôda a bacia do antigo São Francisco. A situação parece não ter se modificado muito. Como sabemos, as áreas mais sêcas atuais do polígono estão no sertão da Borborema entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte e no vale do São Francisco, entre a Bahia e Pernambuco. No vale do São Francisco destacam-se, pela diminuta precipitação, as áreas em tôrno das cidades de Joazeiro, Petrolina, Cabrobró e Petrolândia. Na Paraíba, as áreas em tôrno de Cabaceiras, consideradas o polo sêco do Nordeste brasileiro.

Para explicar esta sucessão de períodos desérticos e glaciais, Guimarães socorre-se da hipótese de Wegener sôbre a migração do polo e, em consequência, por translações continentais parciais que modificaram a geografia do planeta. Conquanto esta hipótese seja motivo de controversia entre geólogos e geofísicos, o fato é que a paleoclimatologia confirma estas variações de clima do passado.

As causas das flutuações climáticas foram resumidas nos seguintes itens (11):

a) **causas terrestres** — O calor próprio da Terra, cuja fonte seria a radioatividade interna. Êste calor

seria a causa do clima normalmente quente da Terra, enquanto os períodos de formação das montanhas, que precederam aos períodos glaciais, corresponderiam aos períodos de resfriamento;

b) teor de CO₂ da atmosfera cujas variações modificariam o poder absorvente da atmosfera, em face da radiação solar (hipótese de S. Arrhenius);

c) as erupções vulcânicas que projetam grandes quantidades de cinzas na atmosfera, interceptam a radiação solar. Estas erupções parecem produzir-se de maneira paroxística durante os períodos de orogênese;

d) a deriva de continentes, de acordo com Wegener; por uma deriva de conjunto da crosta cristalina superficial em relação à massa do globo, conforme Colberg, Bertrand, Eddington; por um deslocamento angular da massa inteira do globo em relação à seu eixo de rotação, segundo Kelvin, Darwin, Schiapparelli e Rudzki;

a) **causas extra-terrestres:** a) Milankovitch tenta explicar por fatos puramente astronômicos a variação dos elementos da órbita terrestre em torno do Sol. A posição ligeiramente inclinada do eixo de rotação da Terra — 23° 27' — sobre o plano da eclíptica — plano de rotação da Terra em torno do Sol — e a rotação diurna da Terra sobre si mesma são as razões pelas quais a quantidade de energia que chega a cada instante do Sol experimenta uma variação anual e uma variação diurna que se traduz por variações do mesmo período na maioria dos elementos climatológicos na superfície do globo. A forma esférica da Terra tem por consequência que o ângulo de incidência do fluxo de energia solar varie com a latitude. A energia recebida por unidade de superfície horizontal varia com este ângulo de incidência, portanto, máxima no equador e nula nos polos. A Terra está envolvida por uma atmosfera que absorve, reflete e difunde uma parte da energia solar incidente. O poder absorvente da atmosfera experimenta variações devidas, notadamente, às poeiras das erupções vulcânicas. Por outro lado, a energia solar experimenta flutuações acidentais e periódicas (ciclo solar), sobretudo no domínio dos pequenos comprimentos de ondas (ultravioleta). O plano de equador não está fixo; desloca-se lentamente, no sentido retrogrado, de maneira que o ponto vernal ou nó equatorial desloca-se também da mesma forma. A precessão dos equinócios é essa deslocação do ponto vernal em sentido retrogrado. Foi Hiparco, o primeiro astrônomo que observou este fato e confirmado, muitos séculos depois, por Newton, que mostrou, de forma matemática, que é devido à atração do Sol sobre a dilatação equatorial terrestre e não existiria para uma Terra, perfeitamente esférica e homogênea. Hoje, o Polo Norte está perto da Estrela Polar, a Ursa Menor, a cerca de 1.º; irá aproximando-se até o ano 2605, ficando então a 36' desta estrela; depois, começará a afastar-se. No fim de 16.000 anos estará perto da mais brilhante

estrela da Lira, Vega. Esta estrela, hoje a 51º do Polo, distará, então, de 5º apenas. No fim de 27.000 anos, o Polo se aproximará de novo da posição atual. Segundo Milankovitch, a combinação de diversos períodos próprios da variação destes elementos (excentricidade da elipse, 96 600 anos; a inclinação do plano da eclíptica, 69 000 anos; a precessão dos equinócios, de 16 000 a 27 000 anos) seriam suficientes para explicar todos os períodos glaciais; b) a densidade da matéria interestelar apresentaria zonas de acumulação (nuvens interestelares) daí a absorção da radiação solar e o resfriamento e as zonas normalmente rarefeitas e um clima normalmente suave; c) a variação de intensidade da radiação solar foi também proposta. O bem conhecido ciclo undecenal teria alguma influência, pois, o Sol constituiria uma estrela variável de longo período de oscilação.

A PALEOCLIMATOLOGIA

Todos estes tópicos são controvertidos, porque a Ciência atual não dispõe ainda de elementos suficientes para fazer uma triagem individual e responsabilizar este ou aquele fator na produção de secas ou de períodos glaciais. Talvez todos façam parte de um processo integrado. O fato é que existem variações de clima, variações estas seculares e milenares e que fazem parte de hipóteses as mais variadas, conquanto a sua realidade esteja fora de dúvida.

As variações que caracterizam os períodos geológicos no decurso das idades e cujos períodos glaciais são os aspectos mais conhecidos (as idades mais quentes são as menos conhecidas, paradoxalmente) são ainda enigmáticas e fazem parte de uma ciência particular, denominada **paleoclimatologia**, cujo objetivo é uma interpretação coordenada dos testemunhos climáticos experimentados pela crosta terrestre no decorrer dos tempos geológicos.

O CICLO UNDECENAL

A partir da segunda metade do século XIX, alguns astrônomos tentaram explicar os períodos secos, úmidos e glaciais através do ciclo undecenal de manchas solares. Euclides da Cunha em "Os Sertões" cita o fato de que, no século passado, o barão de Capanema procurando explicar o fenômeno das secas, tentou ligar, através das especulações de Herschel, o aparecimento undecenal das manchas solares com as secas. Como que antevendo que este mecanismo não seria suficiente para explicar o fenômeno, concluiu: "Falhou neste ponto, em que pese à sua forma atraentíssima, a teoria planeada: raramente coincidem as datas do paroxismo estival, no norte, com as daquêle."

Reexaminemos a questão, sob o ângulo moderno, isto é, com organização estatística da atividade solar em Número Relativo de Wolf n — valor determinado pelo Observatório de Zurich — de 1749 a 1965 e os períodos de secas. Não levaremos em consideração os períodos de 1500 a 1749 porque se tratam de valores empíricos determinados pelo antigo Observatório de Paris.

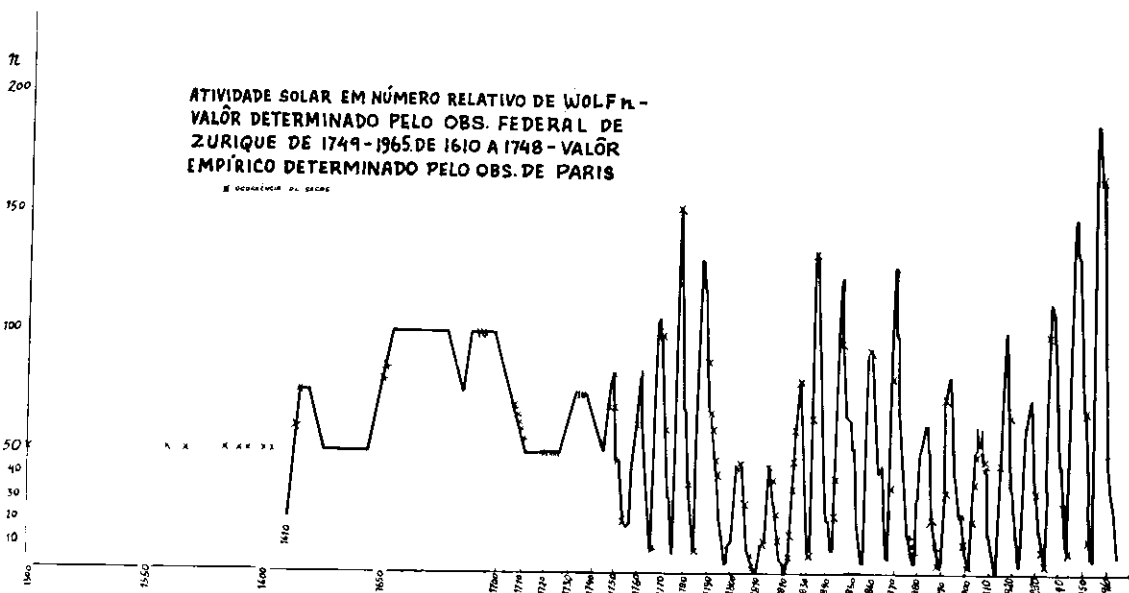
TABELA II

A	n	AS	D	IF	I	D.J.	Dif. IF.	Per. comb.
1500	—	1500	1	—		226893300		
1559	—	1559	1	59		229048275	21549,75	
1564	—	1564	1	5		229230900	1827,00	
1583	—	1583	1	19		229923875	6929,75	
1590	—	1590	1	7		230179550	2556,75	
1592	—	1592	1	2		230252600	730,50	
1600	—	1600	1	8		230544700	2921,00	
1603	—	1603	1	3		230654437	1097,37	
1614	—	1614	2	11		231056050	4016,13	
1615	—	1615				231092575	365,25	} 4381,38
1651	—	1651				232408475	13159,00	} 13524,25
1652	—	1652				232445000	365,25	
1691	—	1691	3	39		233868475	14234,75	
1692	—	1692				233905000	365,25	} 14965,25
1693	—	1693				233941525	365,25	
1707	—	1707	5	14		234452875	5113,50	
1708	—	1708				234489400	365,25	
1709	—	1709				234525925	365,25	} 6574,00
1710	—	1710				234562450	365,25	
1711	—	1711				234598975	365,25	
1720	—	1720	2	9		234927700	3287,25	} 3625,25
1721	—	1721				234964225	365,25	
1723	—	1723	5	2		235037275	730,50	
1724	—	1724				235073800	365,25	
1725	—	1725				235110325	365,25	} 2191,50
1726	—	1726				235146830	365,25	
1727	—	1727				235183375	365,25	
1735	—	1735	3	8		235475575	2922,00	
1736	—	1736				235512100	365,25	} 3652,50
1737	—	1737				235548625	365,25	
1748	—	1748	4	11		235950400	4017,75	
1749	80.9	1749			0.8	235986925	365,25	
1750	83.4	1750			0.8	236023450	365,25	} 5113,50
1751	47.7	1751			0.4	236059975	365,25	
1754	12.2	1754	1	3	0.2	236169550	1095,75	
1760	62.9	1760	1	6	0.6	236388700	2191,50	
1766	11.4	1766	1	6	0.2	236607850	2191,50	
1771	81.6	1771	2	5	0.8	236790475	1826,25	
1772	66.5	1772			0.6	236827000	365,25	} 2191,75

A	n	AS	D	IF	I	D.J.	Dif. IF.	Par. comb.
1776	19.8	1776	3	4	0.2	236973100	1461,00	} 2191,50
1777	92.5	1777			0.8	237009625	365,25	
1778	154.4	1778			1.0	237046150	365,25	} 2191,50
1782	38.5	1782	3	4	0.4	237192250	1461,00	
1783	22.8	1783			0.4	237228775	365,25	} 2191,50
1784	10.2	1784			0.2	237265300	365,25	
1790	89.9	1790	5	6	0.8	237484450	2191,50	} 3652,50
1791	66.6	1791			0.8	237520975	365,25	
1792	60.6	1792			0.8	237557500	365,25	} 3652,50
1793	46.9	1793			0.4	237594025	365,25	
1794	41.0	1794			0.4	237630550	365,25	} 4016,75
1803	43.1	1803	3	9	0.4	237959175	3286,25	
1804	47.5	1804			0.4	237995700	365,25	} 4016,75
1805	42.2	1805			0.4	238032225	365,25	
1808	8.1	1808	2	3	0.2	238141800	1095,75	} 1461,00
1809	2.5	1809			0.2	238178325	365,25	
1814	13.9	1814	3	5	0.2	238360950	1826,25	} 1095,75
1816	45.8	1816	2	2	0.4	238434000	730,50	
1817	41.1	1817			0.4	238470525	365,25	} 1095,75
1819	23.9	1819	2	2	0.4	238543575	730,50	
1820	15.7	1820			0.2	238580100	365,25	} 2556,75
1824	8.5	1824	4	4	0.2	238726200	1461,00	
1825	16.6	1825			0.4	238762725	365,25	} 2556,75
1826	36.3	1826			0.4	238799250	365,25	
1827	49.7	1827			0.2	238835775	365,25	} 1095,75
1829	67.0	1829	2	2	0.6	238908825	730,50	
1830	71.0	1830			0.6	238945350	365,25	} 1095,75
1833	8.5	1833	1	3	0.2	239054925	1095,75	
1835	56.9	1835	1	2	0.6	239127975	730,50	} 3287,25
1837	138.3	1837	1	2	1.0	239201025	730,50	
1844	15.0	1844	3	7	0.2	239456700	2556,75	} 3287,25
1845	40.1	1845			0.4	239493225	365,25	
1846	61.5	1846			0.6	239529750	365,25	} 3287,25
1860	95.7	1860	1	14	0.8	240041100	5113,50	
1868	37.3	1868	2	8	0.4	240333300	2922,00	} 3287,25
1869	73.9	1869			0.6	240369825	365,25	
1877	12.3	1877	3	8	0.2	240662025	2922,00	} 3652,50
1878	3.4	1878			0.2	240698550	365,25	
1879	6.0	1879			0.2	240735075	365,25	

A	n	AS	D	IF	I	D.J.	Dif. IF.	Per. comb.
1885	52.2	1885	1	6	0.6	240954225	2191,50	} 1461,00
1888	6.8	1888	2	3	0.2	241063800	1095,75	
1889	6.3	1889			0.2	241100325	365,25	
1891	35.6	1891	2	2	0.2	241173375	730,50	} 1095,75
1892	73.0	1892			0.6	241209900	365,25	
1898	26.7	1898	3	6	0.2	241429050	2191,50	} 2922,00
1899	12.1	1899			0.2	241465675	365,25	
1900	9.5	1900			0.2	241502000	364,25	
1902	5.0	1902	3	2	0.2	241575050	730,50	} 1461,00
1903	24.4	1903			0.4	241611575	365,25	
1904	42.0	1904			0.4	241648100	365,25	
1907	62.0	1907	2	3	0.6	241757675	1095,75	} 1461,00
1908	48.5	1908			0.4	241794200	365,25	
1915	47.4	1915	1	7	0.4	242049875	2556,75	
1919	63.6	1919	1	4	0.6	242195975	1461,00	} 1095,75
1930	35.7	1930	1	11	0.4	242597750	4017,75	
1932	11.1	1932	2	2	0.2	242670800	730,50	
1933	5.7	1933			0.2	242707325	365,25	} 1095,75
1936	79.7	1936	1	3	0.6	242816900	1095,75	
1941	47.5	1941	1	5	0.4	242999525	1826,25	
1944	9.6	1944	1	3	0.2	243109100	1095,75	} 1095,75
1951	69.4	1951	1	7	0.6	243364775	2556,75	
1953	13.3	1953	1	2	0.2	243437825	730,50	
1958	176.7	1958	1	5	1.0	243620450	1826,25	

Obs. A = ano; n = Número n de Wolf; AS = ano de seca; D = duração dos períodos de secas; IF = intervalo de frequência das secas; I = Símbolo de intensidade do ciclo solar; D.J. = Dias Julianos; Dif. I. F. = Diferença de intervalo de frequência; Per. comb. = Período combinado.



OBSERVAÇÕES ARITMÉTICAS ELEMENTARES — Observemos, agora, o gráfico estatístico sob o ponto de vista aritmético. Computemos os períodos de acordo com o Sol, e verificamos que,

TABELA III

0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
26	21	13	8	3

Chegamos, então, a primeira conclusão: os períodos de secas que coincidem com a máxima solar são mínimos — o I acima de 1.0. A predominância está entre os símbolos 0.2, e 0.6. A maioria dos pe-

ríodos de secas coincidem de um lado e de outro do ramo da curva.

Um exame superficial do gráfico mostra que só houve correspondência do ciclo undecenal de atividade solar com as secas nos seguintes períodos:

TABELA IV

ANO	n	I
1750	83.4	0.8
1778	154.4	1.0
1804	47.5	0.4
1816	45.8	0.4
1830	71.0	0.6
1837	138.3	1.0
1860	95.7	0.8

Temos, portanto, 7 períodos de coincidência do ciclo undecenal de atividade solar com as secas, contra 64 períodos de secas que não correspondem

ao ciclo de 11 anos. É interessante observar que somente 2 peaks correspondem ao $I = 1.0$, enquanto os outros correspondem a I que vão desde 0.4 a 0.8.

Estas expressões aritméticas têm algum significado? É claro que tem. A primeira consequência que tiramos destas simples observações aritméticas é que as manchas solares do ciclo undecenal não podem ser responsabilizadas pelas secas. Portanto, Euclides da Cunha, na sua visão artístico-científica tinha razão em refutar esta causa.

A segunda conclusão é de que o Sol é uma estrela variável de longo período. Observemos mais uma vez o diagrama. Verificamos que nas máximas existem períodos de 7, 8, 10, 11, 12, 14 e 17 anos, sendo que predominam períodos de 9, 10 e 11 anos, e subsequentemente, períodos, na ordem inversa, de 12, 14, 17 e 7 anos. Nos mínimos existem períodos de 9, 10, 11, 12 e 13 anos, sendo que predominam os períodos de 11 e 10 anos e, sub-

sequentemente, os períodos de 12, 2 e 9 anos. O intervalo de frequência (IF) das secas é de 2, 3, 6 anos e, subsequentemente, 4, 5, 7, 8, 11, 9, 14, 19 e 59 anos.

Abetti (12) observou que a passagem do mínimo ao máximo é mais rápido do que da máxima para o mínimo. De fato, da média dos ciclos até agora observados deduz-se que a diferença de tempo, entre o máximo e o mínimo é de cerca de 6,5 anos, enquanto do mínimo ao máximo seguinte é somente de 4,5 anos.

Observações baseadas no estudo dos campos magnéticos das manchas solares, fazem supor que o ciclo solar completo seja de duração de 22 ou 23 anos, talvez mais do que 11 anos, e que a di-

**TABELA V
MÁXIMAS SOLARES**

Períodos em Anos	7	9	10	11	12	14	17
	1	4	4	4	3	2	1

**TABELA VI
MÍNIMAS SOLARES**

Períodos em Anos	9	10	11	12	13
	1	5	9	3	2

**TABELA VII
INTERVALOS DE FREQUÊNCIA (IF) DAS SECAS**

IF em anos	2	3	4	5	6	7	8	9	11	14	19	36	39	59
	11	8	4	5	5	5	4	2	3	2	1	1	1	1

**TABELA VIII
INTENSIDADE (I) DO CICLO SOLAR EM RELAÇÃO
AOS PERÍODOS DE SECAS**

0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
26	21	13	8	3

**TABELA IX
DURAÇÃO DAS SECAS**

Em Anos	1	2	3	4	5
	26	13	9	2	2

ferença de intensidade dos ciclos provenham da superposição ao período undecenal de outros mais breves ou compridos períodos. Schuster já discutiu há anos uma série de ciclos com análises harmônicas, obtendo pelo menos 4 períodos superpostos. Oppenheim, com o mesmo método, estabeleceu 2 ciclos: um de 11,25 anos e um super-período de 450 anos, com a combinação dos quais conseguiu representar os números relativos de Wolf.

Waldmeier construiu uma série de curvas nas quais fazia coincidir o máximo de todos os ciclos, observando que o andamento da curva de frequência das manchas é geralmente determinado pelo número máximo relativo mensal de um dado ciclo (R_M). Descobriu, assim, que o tempo de ascensão do mínimo para o máximo (T) pode ser representado, nos ciclos pares, por

$$\log R_M = 2,69 - 0,17 T$$

e para os ciclos ímpares por:

$$\log R_M = 2,48 - 0,10 T$$

isto é, o número de anos T diminui com o crescimento da intensidade do máximo. Esta observação é importante, porque, quando se conhece o princípio e o primeiro andamento de um ciclo undecenal, torna-se possível prever alguns anos antes a época do máximo e do mínimo. As previsões para longo tempo ainda não podem ser feitas, porque não se conhece a lei que governa a seqüência dos ciclos altos e baixos. Parece que os valores R_M em um período de 7 ciclos aumentam e diminuem. Um máximo de R_M foi observado em 1778, 1860, 1937, 1947, 1957. Parece ainda que estas oscilações de longo período, revelam-se também na distribuição das manchas nos hemisférios boreal e austral.

Em síntese, o verdadeiro andamento da ati-

vide solar é mais irregular das que resultam das médias mensais e anuais, como provam as observações regulares. Ao lado de um número relativo muito alto podemos encontrar um outro muito baixo. Estas variações podem durar alguns dias ou meses, porém, não apresentam qualquer regularidade ou periodicidade.

Esta análise foi realizada com o objetivo de mostrar que não existe possibilidade teórica de se ligar o fenômeno das secas com o das manchas solares do período undecenal.

DURAÇÃO DAS SÊCAS

Um dos fenômenos menos explicado é a duração das secas. Desde a descoberta do Brasil têm-se registrados alguns períodos de secas que se prolongam por um ou mais anos. Este fato já foi notado na Tabela II. Neste ponto reside um dos problemas mais interessantes do vasto campo solar.

INTERVALO DE FREQUÊNCIA

Observemos a tabela II. A idéia da construção desta tabela partiu da aplicação da curva de luz standard de Harvard. Com a construção desta tabela em Dias Julianos salta à vista a periodicidade das secas. Verificamos, em primeiro lugar, a constância do período 730,50 D.J. nos vários ciclos. Logo a seguir, o período 1095,75 D.J. Entretanto, o mais notável neste período é a combinação de vários ciclos (duração das secas) para terminar o período de 1095,75 D.J. Caracteriza-se, logo em seguida, o período 1461,00 D.J. com seus períodos combinados: 1827,00 e 1826,25; 2191,50; 2556,75; 2922,00; 3287 e 3286,25; 3652,25; 4017,75 e 4016,75; 5113,50; 6574,00; 6929,75; 13159,00; 13524,25; 14234,75; 14965,25; e o misterioso período de 21549,75. Portanto, temos os seguintes IF em D.J.:

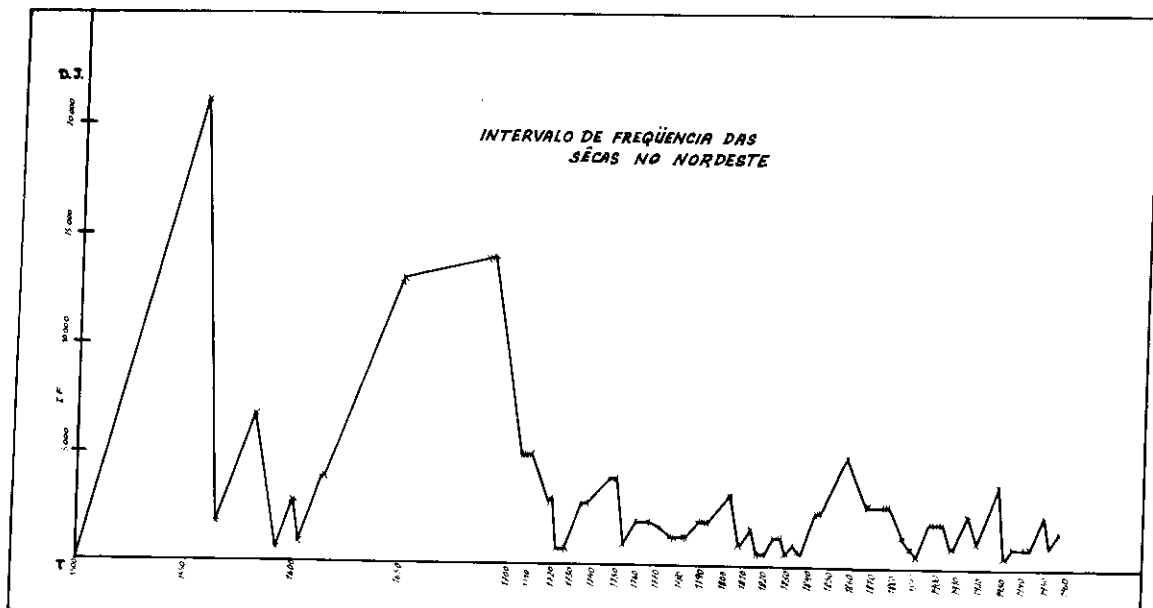


TABELA X

1.º Ciclo	2.º Ciclo	3.º Ciclo	4.º Ciclo	5.º Ciclo
730,50	1095,75	1461,00	1827,00	2191,50
6.º Ciclo	7.º Ciclo	8.º Ciclo	9.º Ciclo	10.º Ciclo
2556,75	2922,00	3287,00	3652,25	4017,75
11.º Ciclo	12.º Ciclo	13.º Ciclo	14.º Ciclo	15.º Ciclo
4381,38	5113,50	6574,00	6929,75	13159,00
16.º Ciclo	17.º Ciclo	18.º Ciclo	19.º Ciclo	
13524,25	14234,75	14965,25	21549,75	

Observando-se os problemas estatísticos temos, pois,
 ponto médio: de 1500 a 1958 = 11.687,50 d; de 1749 a 1958 = 3.469,50 d;
 A distribuição por frequência é: de 1500 a 1958 = 1.660,25 d;
 de 1749 a 1958 = 273,91 d.
 A frequência dos ciclos é: de 1500 a 1958 = 1.038,05 d;
 de 1749 a 1958 = 173,00 d.
 Pelo processo da curva de luz standard: = 365,2.

Distribuição dos ciclos: = 1.734,91; dividido pelo número dos ciclos = 1.095,73 d.

A primeira lição que se pode extrair destas tabelas é a de que as sêcas não defluem de oscilações da Terra em tórno do Sol. A persistência dos fenômenos de sêca de um ano para outro mostra que esta causa também deve ser abandonada, pelo menos no que se refere àqueles fenômenos. Sabemos que através dos dias julianos torna-se possível calcular a posição do Sol na ecliptica em tôda a época do ano, e assim encontrar também a posição da

TABELA XI

730,50	1095,75	1461,00
730,50	1095,75	1461,00
730,50	1095,75	1461,00
730,50	1095,75	Períodos combinados
730,50	1095,75	
730,50	1095,75	1095,75 } = 1461,00
730,50	1095,75	365,25 } = 1461,00
730,50	1095,75	365,25 } = 1461,00
730,50	Períodos Combinados	730,50 } = 1461,00
730,50		
730,50	730,50 } = 1095,75	1095,75 } = 1461,00
730,50	365,25 } = 1095,75	
730,50	730,50 } = 1095,75	1095,75 } = 1461,00
730,50	365,25 } = 1095,75	
730,50	730,50 } = 1095,75	365,25 } = 1461,00
730,50	365,25 } = 1095,75	

TABELA XII

<p>1827,00 1827,00 1826,25 1826,25 1826,25</p>	<p>2191,50 2191,50 2191,50 2191,50 2191,50</p> <p>Períodos combinados</p> <p>1826,25 } = 2191,50 365,25</p> <p>1461,00 } = 2191,50 365,25 365,25</p> <p>1461,00 } = 2191,50 365,25 365,25</p> <p>730,25 } = 2191,50 365,25 365,25 365,25</p>	<p>2556,75 2556,75 2556,75 2556,75 2556,75</p> <p>Períodos combinados</p> <p>1461,00 } = 2556,75 365,25 365,25 365,25</p>
<p>2922,00 2922,00 2922,00 2922,00</p> <p>Períodos combinados</p> <p>2191,50 } = 2922,00 365,25 365,25</p>	<p>3287,00 3286,25</p> <p>Períodos combinados</p> <p>2556,75 } = 3287,25 365,25 365,25</p> <p>2922,00 } = 3287,25 365,25</p>	<p>Períodos combinados</p> <p>3287,25 } = 3652,25 365,25</p> <p>2922,00 } = 3652,25 365,25 365,25</p> <p>2191,50 } = 3652,25 365,25 365,25 365,25</p> <p>2922,00 } = 3652,25 365,25 365,25</p>
<p>4017,75 4016,13 4017,75</p> <p>Períodos combinados</p> <p>3286,25 } = 4016,75 365,25 365,25</p>	<p>Período combinado</p> <p>4016,13 } = 4381,38 365,25</p>	
<p>5113,50 5113,50</p> <p>Período combinado</p> <p>4017,75 } = 5113,50 365,25 365,25 365,25</p>	<p>Período combinado</p> <p>5113,50 } = 6574,00 365,25 365,25 365,25</p>	6929,75
13159,00	<p>Período combinado</p> <p>13159,00 } = 13524,25 365,25</p>	14234,75
<p>Período combinado</p> <p>14234,75 } = 14965,25 365,25 365,25</p>	21549,75	

Terra. Nenhum destes cálculos mostra a inobservância da Terra pelas leis da mecânica celeste. Portanto, a origem do problema deve ser procurado na relação atividade solar/atmosfera terrestre.

CORRELAÇÕES SOLARES/ATMOSFERA TERRESTRE

Além dos efeitos dos períodos undecenais, suficientemente conhecidos, em relação ao globo e a atmosfera terrestres, existem outros fatores solares que agora estão sendo descobertos. A investigação do comportamento do Sol — a heliofísica, propriamente dita — começou há poucos anos. A atividade solar e suas repercussões na atmosfera terrestre é uma ciência relativamente nova, que agora está na fase de acumulação de dados. Os efeitos de certas atividades solares estão sendo correlacionadas pela observação sistemática.

As pesquisas executadas por sondas, satélites artificiais, foguetes, observações espectrais, de rádio, por índices de raios cósmicos, por índices de atividades geomagnéticas mostram que existem repercussões imediatas e remotas na ionosfera terrestre com certos tipos de emissões solares, por exemplo, a emissão de flares solares com associação de efeitos ionosféricos.

Como se sabe, as pesquisas mostraram a existência de camadas ionosféricas com a denominação de E, F₁, F₂ e D. Lembremos, por exemplo, que considerando uma média de dias de concentração eletrônica da região F₂, tendo em vista caracterizar seu comportamento médio, é possível deduzir, imediatamente, que os dados mensais obidos por uma estação ionosférica experimenta flutuações análogas aquelas do número de manchas solares. É possível, assim, obter-se períodos variáveis de atividades solares e, finalmente, o período undecenal. Esta relação entre os fenômenos ionosféricos e solares — não nitidamente definidos sob o ponto de vista físico — está suficientemente conhecido para permitir efetuar previsões alguns meses antes. A variação do número de manchas observadas há pouco mais de 200 anos, pode ser predita pelo cálculo (13). Associando-se os resultados ionosféricos obtidos nestes últimos 25 anos, é possível encontrar-se correlações muito boas para prevêr o comportamento futuro da região F₂ em relação a futura atividade solar. Tornou-se, agora rotina, a observação de flares solares serem correlacionados com súbitos distúrbios ionosféricos (SID), distúrbios graduais ionosféricos (GID), fadeouts de ondas curtas (SWF), elevação de baixa frequência atmosférica (SEA) e crescimento da absorção cósmica (SCNA) e assim por diante.

Pouca coisa se pode dizer do Nordeste em relação a ionosfera em períodos de secas. A sonda ionosférica que começou a funcionar em Natal, em 1957, só conseguiu obter o registro de um período de secas, o de 1958. Não tendo registros de períodos

anteriores, é difícil fazer-se uma análise correlativa e o comportamento da ionosfera durante estes períodos. A reconstituição poderá ser feita através de interpolação com outras estações situadas na mesma latitude geomagnética. Escapa, entretanto, do âmbito sumarizado deste trabalho.

Dentro de algum tempo, com a acumulação de dados, será possível predizer, através da sondagem da ionosfera relacionada com a atividade solar, o próximo ciclo de secas no Nordeste.

ASPECTOS METEOROLÓGICOS

Os aspectos meteorológicos das secas já foram estudados por numerosos pesquisadores, desde os tradicionais trabalho de Derby (14) até os mais modernos de Ferraz (15) e Serra (16). Segundo Serra, as chuvas do Nordeste brasileiro são produzidas pelos deslocamentos do *doldrum*; estes últimos dependem, porém, estritamente das oscilações da frente polar sulamericana. Quando o *doldrum* é expulso do movimento do Sul para Norte, da frente polar sul-americana as chuvas cessam no interior do Nordeste tradicional.

Um outro exemplo: no litoral do Rio Grande do Norte e da Paraíba situa-se a faixa úmida e mais próspera destes dois Estados. Neste trecho, os quantitativos pluviais anuais, oscilam entre 800 e mais de 1.500 mm, decrescendo do litoral para o interior. Estas chuvas são causadas pelo avanço da Massa equatorial Atlântica sobre o continente no outono, aprofundando-se na região durante o período de inverno. Nesta época predominam os alísios de E que acarretam as chuvas. Estas ocorrem mais intensas no outono e prolongam-se no inverno. Ao contrário do que acontece no interior, o período de estiagem ocorre no semestre do verão. A estação chuvosa começa em fevereiro e segue até julho, alcançando o máximo no outono — mês de abril — e continuando ainda intensa nos meses de inverno. A estiagem estende-se de agosto a janeiro, acentuada no trimestre da primavera — pois, novembro costuma ser o mês mais seco (17).

Entretanto, existem numerosos fatores a serem estudados. Sabemos, por exemplo, que o fator que provoca as complicações mais importantes é o aquecimento ou o resfriamento da superfície dos continentes. O ar próximo do solo é relativamente frio no inverno e quente no verão; no primeiro caso, o excesso de densidade deste ar tende a criar um anticiclone térmico ou anticiclone frio, localizado nas baixas camadas e no segundo caso o deficit de densidade tende a criar uma depressão térmica ou depressão quente nas baixas camadas.

A observação mostra que a abundância das condensações nas correntes ascendentes que se resfriaram subindo à atmosfera decrescem do equador aos polos. Mas, a influência da situação geográfica se faz sentir profundamente, mais do que a temperatura.

, Quando uma corrente de ar chega do mar sobre uma praia mais ou menos acidentada, o seu movimento é freado pelo atrito com o solo, aparecendo assim a turbulência a qual pode se superpor a convecção térmica quando o solo estiver super-aquecido. É a origem das nuvens mais ou menos cumuliformes que ocorrem nas proximidades das costas. A presença de uma superfície de água tende ao contrário fazer desaparecer a convecção térmica — sob a ação dos raios solares, uma superfície de água se aquece menos do que a terra circunvizinha — observando-se, às vezes, camadas nubladas limitadas pela corrente de um rio.

É assim que a umidade sendo trazida sobretudo pelos ventos provenientes dos mares, chega muito reduzida em regiões distantes das costas, nas quais vastas áreas são áridas. Por outra parte, a chuva forma-se nas regiões da atmosfera onde sobrevêm correntes ascendentes provocadas pelos movimentos ciclônicos ou pelo aquecimento do solo, isto é, pela troposfera.

Nas regiões equatoriais os ventos são geralmente muito fracos e a forte radiação recebida pelo solo o aquece e aí se produzem correntes ascendentes que, aspirando o ar úmido, originam, ao se resfriar em sua ascensão, chuvas abundantes; a variação no curso do ano tende a apresentar, como a radiação, duas máximas e duas mínimas, mas em muitos pontos o regime dos ventos, dependente da situação geográfica, imprime uma variação diferente. Além disso, os ventos alísios que se elevam, inlfetem para o equador, e produzem fortes chuvas, porém, a variação do decurso do ano tende a se acentuar.

Entretanto, este mecanismo fica truncado nos períodos de secas, no interior do Polígono. O fato de maior importância nestes períodos é a presença de nuvens cumuliformes durante o dia, sem que se registre um amadurecimento das mesmas e sua conseqüente transformação em cumulus-nimbus.

MICROFÍSICA DAS NUVENS

Agora, chegamos, realmente, ao núcleo da questão. O período de seca não é, como se pensa, com um céu abrasador e límpido. Não. Há massas nubladas, onde predominam cumulus, que se deslocam horizontalmente com muito pouca velocidade. As investigações não nos deram até agora o teor de umidade destas nuvens nem a sua densidade. O fato é que, por sua natureza, não conseguem amadurecer nem adensar-se. Com a sementeira artificial, depois de convenientemente preparadas, tornam-se aptas a produção de precipitações, como demonstraram numerosas experiências feitas em várias partes do Polígono.

Então, impõe-se uma conclusão: um fator de ordem física impede o amadurecimento destas nuvens nos chamados invernos. E este fator é periódico de acordo com os períodos apontados na Tabela. E

este fator pode originar-se de um ciclo de atividade solar.

RESUMO

Em resumo, podemos sintetizar, concluindo:

- 1) Apenas um ciclo restrito está ligado às manchas solares;
- 2) As estatísticas mostram que os ciclos de secas estão ligados a um andamento geral da atividade solar;
- 3) a atividade solar tem influência na microfísica das nuvens.
- 4) A importância destes estudos é inegável e afeta a vida de cerca de 25% da população do Brasil. Faz-se mister fundar, por exemplo, em Natal, o Instituto das Secas com o fim de coordenar os programas de estudos, fazer a previsão e planejar os meios técnicos de combate às secas.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — CUNHA, EUCLIDES DA — Os Sertões. 25.^a Ed. Livr. Franc. Alves, S. Paulo, 1957.
 - 2 — CASCUDO, LUIS DA CÂMARA — Dicionário do Folclore Brasileiro. 2.^a ed. Inst. Nat. Livr., Rio de Janeiro, 1962.
 - 3 — CUNHA, EUCLIDES DA — Obr. cit. (1).
 - 4 — FIGUEIREDO, MONS. SEVERIANO DE — Cit. Dantas, José A. Dom. Homens e fatos do Seridó Antigo. O Monitor. S/D.
 - 5 — GUERRA, FELIPE — Secas do Nordeste.
 - 6 — GUIMARÃES, DUQUE, J. — Solo e Água no Polígono das Secas. Ser. Ag-Ind. DNOCS. Fortaleza, 1953.
 - 7 — LYRA, DE TAVARES A. — As secas do Nordeste. Impren. Nac., Rio de Janeiro, 1919; Disc. Sen. sess. 30/4/1910. Tip. "Jornal do Comércio", Rio de Janeiro, 1910.
 - 8 — IBGE. Grandes Regiões — Meio-Norte e Nordeste. V. III, S. A., Cons. Nac. Geogr., 1962.
 - 9 — GUIMARÃES, DJALMA — Arqui-Brasil e sua evolução geológica. D.N.P.M. Bol. N.º 88. Rio de Janeiro, 1951.
 - 10 — OLIVEIRA, A. I. DE E LEONARDOS O. H. — Geologia do Brasil. Impren. Nac., Rio de Janeiro, 1943.
 - 11 — DAUVILLIER, A. — Ciel et Terre. N.ºs 7-8, Belgique, 1965.
 - 12 — ABETTI, G. — Il Sole. Hoepli, Milano, 1952.
 - 13 — Nat. Bur. Of Standards — C.R.P.L., Solar — Geophysical Data, Part B, May 1960, CRPL-F 189. Boulder, Col., 1960.
 - 14 — DERBY, O. — Art. sobr. secas — Jornal do Comércio, Rio de Janeiro: 18/10/1906; 4/4/1906; 1/10/1906; 17/4/1906; 8/10/1907.
 - 15 — FERRAZ, J. DE SAMPAIO — A previsão das secas do Nordeste. Dir. de Met. do Min. de Agric., Rio de Janeiro, 1929.
 - Causas prováveis das secas do Nordeste Brasileiro. Boletim Geográfico, A. VI, N.º 63, IBGE, Rio de Janeiro, 1948.
 - Iminência de uma grande seca nordestina. Rev. Bras. Geografia. A. XII, N.º 1, IBGE, Rio de Janeiro, 1950.
 - A atual seca nordestina. Rev. Bras. Geografia. A. XV, N.º 1, IBGE, 1953.
 - 16 — SERRA, ADALBERTO — Meteorologia do Nordeste Brasileiro. T. Ap. a IV As. G. do Inst. P-A. G. H., IBGE, Rio de Janeiro, 1945.
 - As Secas do Nordeste. Ser. Met. Min. Agric., Rio de Janeiro, 1946.
 - As Secas do Nordeste. Bol. Geográfico, A. XII, N.º 123, IBGE, Rio de Janeiro, 1954.
 - 17 — IBGE. Obr. cit. (8).
- N.B. O material sobre ionosfera aqui citado foi fornecido pela sonda ionosférica do Instituto de Pesquisas da Marinha, de Natal, a quem agradecemos pela prestável colaboração que sempre nos tem dado.