

## 2

### A Escolha do Indicador Climatológico

#### 2.1.

##### Introdução

A análise da dinâmica de um fenômeno climatológico passa pelo estudo dos sinais a ele associados. Este capítulo descreve a escolha do sinal utilizado como indicador de alguns dos fenômenos mais conhecidos na área, assim como suas características principais.

#### 2.2.

##### O Sinal Estudado

Uma das formas mais antigas utilizadas pela humanidade na caracterização do clima é a cobertura de nuvens – medida por satélites a partir da resposta da Terra à radiação solar. Sabe-se que o Sol é um emissor de ondas curtas, que atingem constantemente a superfície de nosso planeta; este, por sua vez, absorve a radiação recebida e a “devolve” em forma de ondas longas ao espaço. Quanto mais “espessa” a cobertura de nuvens, mais atenuada será a radiação percebida pelos satélites que monitoram este indicador. Em outras palavras, a cobertura de nuvens pode ser obtida, indiretamente, a partir de um dos indicadores mais conhecidos na climatologia: a *OLR (Outgoing Longwave Radiation)* [9].

Este processo pode ser mais detalhadamente descrito. O Sol é um emissor de ondas curtas com quase 99% de sua radiação na faixa de 0,15 a 4  $\mu\text{m}$ . A superfície da Terra, quando aquecida pela absorção da radiação solar, torna-se uma fonte de radiação de ondas longas. A maior parte da radiação emitida pela Terra está na faixa entre 4 e 100  $\mu\text{m}$ , com um máximo em torno de 10  $\mu\text{m}$ .

Como o solo, a atmosfera terrestre também absorve e emite energia radiante. Embora a atmosfera seja quase transparente à radiação em ondas curtas, ela apresenta alta capacidade de absorção de radiação infravermelha (ondas longas). Dentre os principais componentes atmosféricos que absorvem radiação infravermelha estão o vapor d'água (na faixa de 5,3 a 7,7  $\mu\text{m}$ ) e as nuvens, que

absorvem radiação em todos os comprimentos de onda. As nuvens são irradiadores particularmente eficazes que agem como corpos negros. A nebulosidade e a temperatura das nuvens mais altas podem, assim, ser mapeadas – e mensuradas – por satélites que usam sensores de infravermelho (IR).

A Figura 1 apresenta uma seqüência de imagens de infravermelho, fruto da composição das medidas de quatro satélites geostacionários [10].

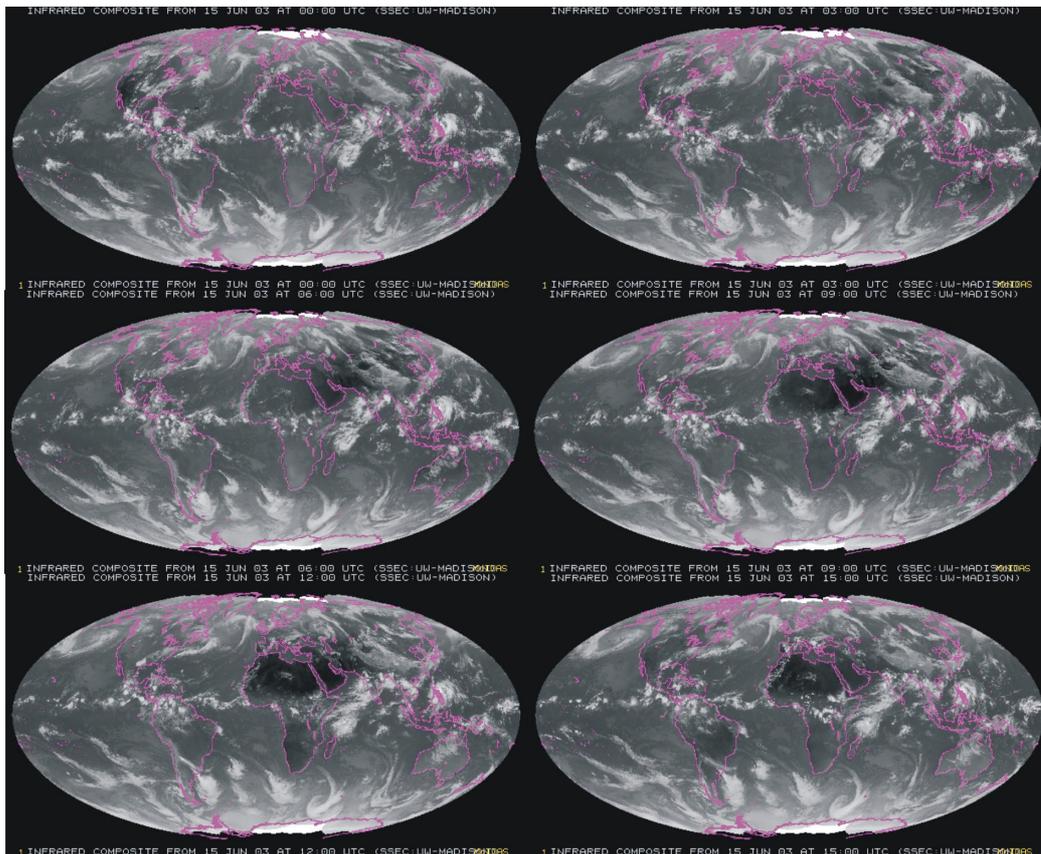


Figura 1 - Seqüência de imagens IR em 15/06/2003, a cada 3 horas.

A Radiação de Ondas Longas, é exaustivamente estudada e utilizada na caracterização de fenômenos climatológicos, como as oscilações *Madden-Julian* [11], com periodicidades que variam de 30-45 dias ou mesmo os *Niños/Niñas*, cujas periodicidades alcançam quatro a oito anos.

Ressalta-se que a tipificação de um fenômeno climatológico é complexa, e não se restringe apenas a uma única variável, como a *OLR*: abrange variáveis como, por exemplo, pressão, direção e intensidade de ventos, temperaturas, etc., tomadas em diferentes níveis da atmosfera. Não é nosso intuito aqui oferecer uma análise climatológica de cada evento em todos estes seus detalhes. Nosso foco será a utilização de uma única variável – a *OLR* – considerada suficiente para a descrição dos fenômenos abordados neste estudo. [12].

### 2.3.

#### A OLR e a Caracterização dos Fenômenos Climatológicos

Utilizaremos ao longo deste trabalho o sinal da *OLR* para a identificação, caracterização e modelagem dos fenômenos climatológicos. Para maior facilidade de entendimento, o sinal será visualizado em seu valor absoluto ( $\text{wm}^{-2}$ ) ou normalizado (variações em torno da média histórica, divididas pela sua energia).

Tomaremos como exemplo dois fenômenos bem conhecidos e estudados na literatura: as oscilações *Madden-Julian* e os eventos *El Niño*, descritos a seguir.

#### 2.3.1.

##### As Oscilações *Madden-Julian*

Os eventos climatológicos no Oceano Índico estão dentre os mais conhecidos e estudados em todo o mundo. Estão associados a sistemas de nuvens que aparentemente se propagam do Oceano Índico para o Pacífico Central com velocidades de 5 a 10 m/s, num período de tempo que varia de 30 a 60 dias.

Em 1972, Roland Madden e Paul Julian [13-15] mostraram a existência de uma oscilação na faixa dos 40-50 dias em diversas variáveis climatológicas (pressão, ventos, temperatura) não apenas na Índia e no Pacífico, onde o fenômeno é mais visível, como em toda a região tropical do globo. A periodicidade desta oscilação é inferior à duração de uma estação (três meses), o que torna o fenômeno intrasazonal. As oscilações *Madden-Julian* (ou *Madden-Julian Oscillations, MJO*) correspondem ao fenômeno intrasazonal mais forte conhecido até o momento – e são por isso objeto constante de estudos na literatura [15-27]

A Figura 2, extraída da referência [21], ilustra a classificação e agrupamento destes fenômenos intrasazonais a partir de suas regiões geográficas. Denominam-se *IND* os eventos estacionários no Oceano Índico, *ISO* e *MJO* eventos propagantes nos períodos de verão e inverno no hemisfério Norte. São propostas ainda regiões típicas de ocorrência de eventos assim denominadas: *Indic Ocean - INDOC*, *Central Ásia-CASIA*, *Eastern Ásia - EASIA*, *Western Pacific - WPAC* e *South Pacific Convergence Zone - SPCZ*. Em resumo, é possível perceber a tentativa de padronizar os eventos segundo critérios geográficos ou sazonais.

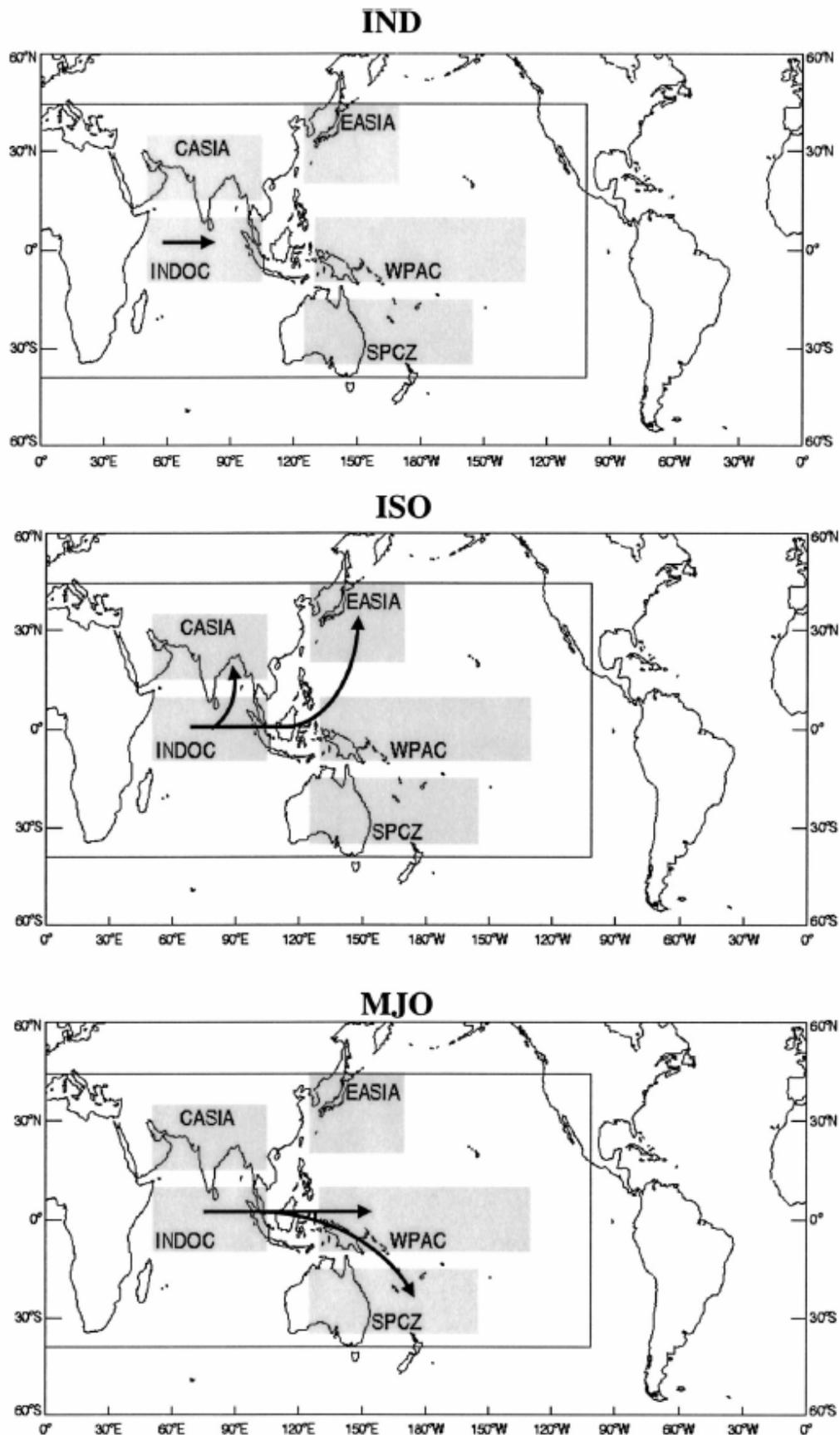


Figura 2 - Região onde se originam as *MJOs* e possíveis caminhos de propagação [21].

A Figura 3 mostra um mapa com a cobertura global de *OLRs*, além da série temporal da *OLR* média diária no ponto 12.5N 55E (marcado em vermelho) para o ano de 1982. Os eventos *MJO*, correspondendo a fortes perturbações no sinal, podem ser visualmente identificados nos meses de maio/junho, agosto e outubro/novembro, assinalados pelas setas vermelhas.

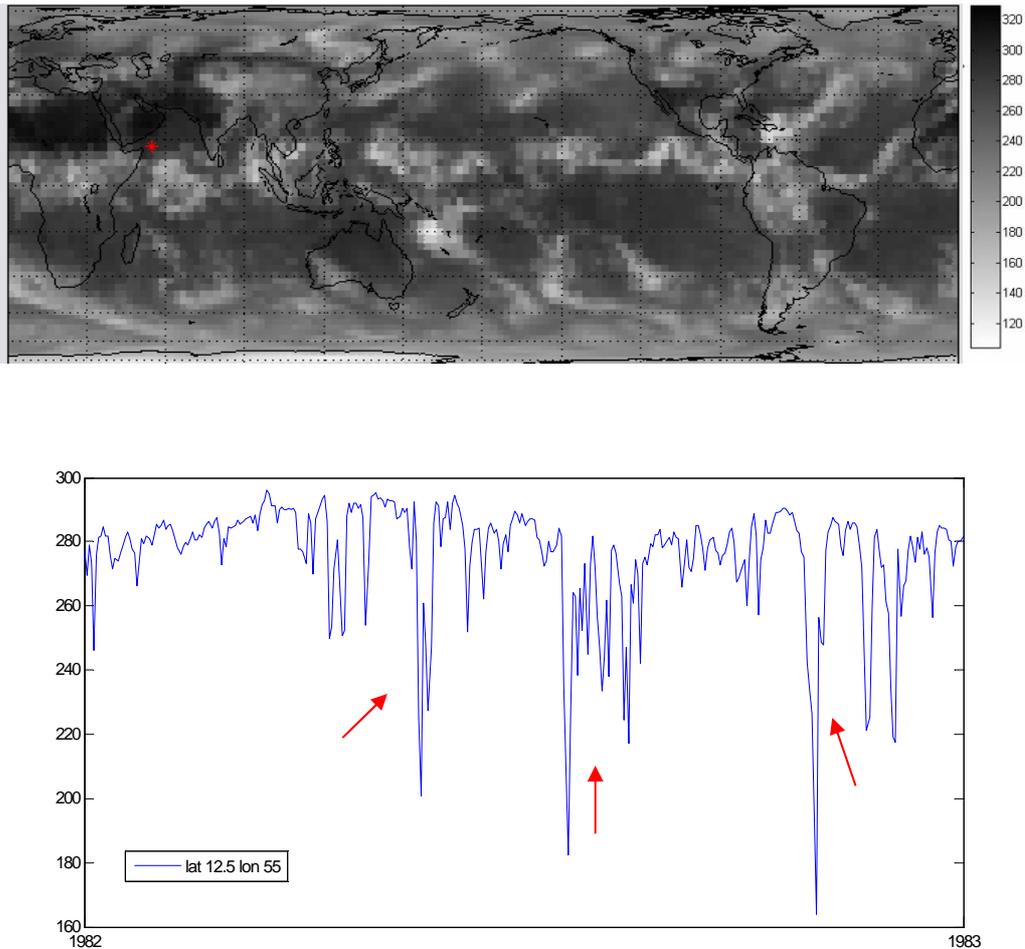


Figura 3 - Mapa Global de *OLRs*. Sinal da *OLR* [ $\text{Wm}^{-2}$ ] na coordenada 12.5N, 55E para o ano de 1982.

A identificação do mesmo fenômeno torna-se ainda mais complexa se um ponto ainda nas proximidades do primeiro, mas sujeito a uma dinâmica climatológica com maior variabilidade, como o ponto 5N, 60E, ilustrado na Figura 4:

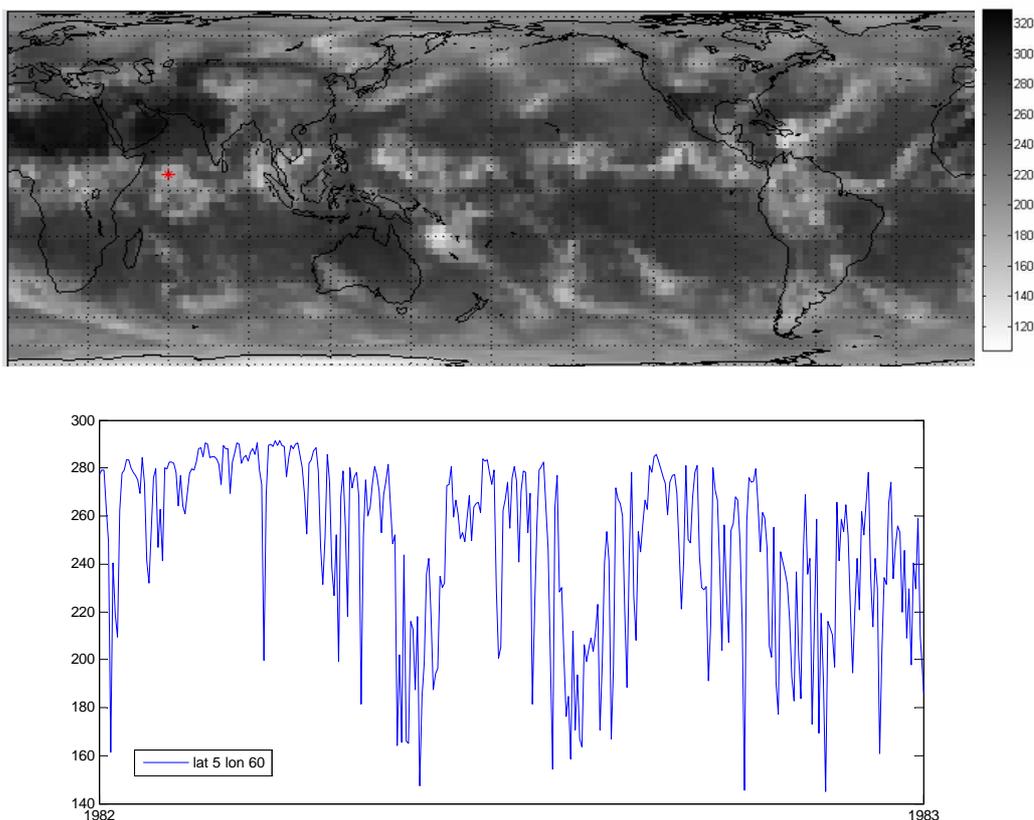


Figura 4 - Mapa Global de OLRs. Sinal da OLR [ $\text{wm}^{-2}$ ] na coordenada 5N, 60E para o ano de 1982.

### 2.3.2. Os Ciclos *El Niño/La Niña*

Os ciclos *El Niño/La Niña* correspondem a eventos com periodicidades de quatro a oito anos, e atingem praticamente todo o planeta. Ao contrário dos eventos *Madden-Julian*, de mais alta frequência, estes ciclos são associados a oscilações de mais baixa frequência, com periodicidade plurianual.

Estes eventos são normalmente definidos como uma perturbação que atinge o sistema do Oceano Pacífico, levando a um aquecimento (no caso do *El Niño*) ou resfriamento (*La Niña*) em suas águas. Tais eventos costumam trazer grandes perturbações, sendo normalmente responsabilizados por muitas das cheias e secas extremas experimentadas em grande parte da Terra [28-29].

A Figura 5 ilustra um dos indicadores mais utilizados para a caracterização de um evento *El Niño*: o aquecimento das águas do Pacífico Equatorial – neste caso, para o evento ocorrido nos anos de 1982/1983, considerado um dos mais fortes registrados. Este aquecimento só é normalmente notado a partir de

novembro ou dezembro – quando então os efeitos do fenômeno já estão consolidados. Muitos pesquisadores buscam uma previsão mais precisa que permita a adoção de ações preventivas – o que requer, em princípio, a antecipação. Deseja-se, em outras palavras, a identificação, com a antecedência possível, da formação do fenômeno, sua propagação, áreas atingidas e efeitos associados.

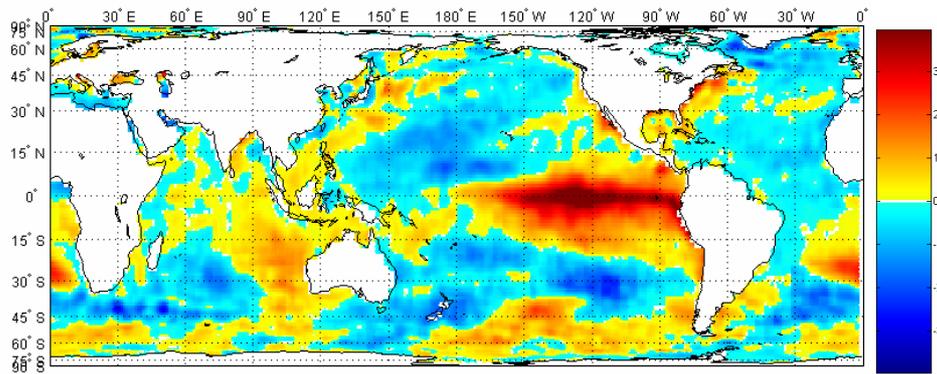


Figura 5 – Anomalias de Temperaturas [°C] na Superfície do Mar configurando o evento *El Niño* de 1982/1983 – Médias Mensais de Janeiro/1983 [30]

Os efeitos do Niño (por exemplo, secas e cheias) podem ser identificados pelo sinal da *OLR*. Por exemplo, uma das regiões onde o sinal do evento *El Niño* é mais evidente é o entorno das Ilhas Galápagos. A Figura 6 apresenta a série temporal das *OLRs* médias diárias na região, tomada na coordenada (90W, 0S), mostrando as perturbações associadas aos *Niños* 1982/3, 1986/7, 1991/2, 1997/8).

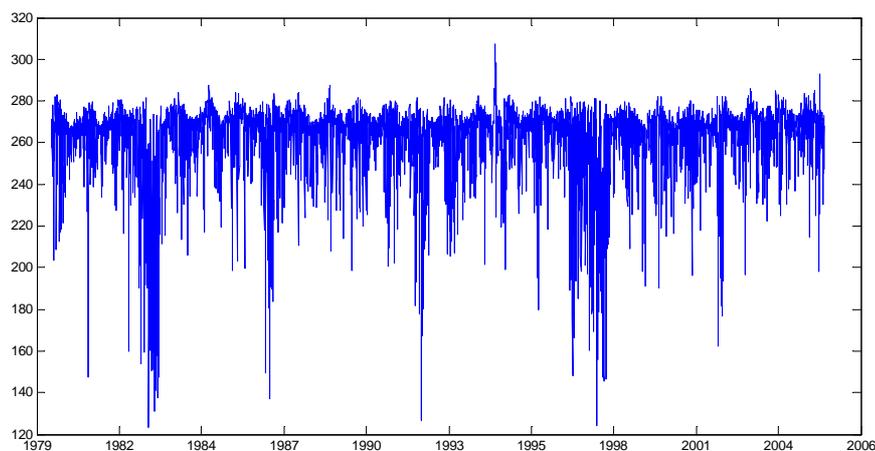


Figura 6 - Sinal da *OLR* [ $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}$ ] na coordenada 90W 0S

## 2.4. A Busca de Relações Climatológicas

O Sinal da *OLR* pode ser utilizado para a busca de relações ou interconexões climatológicas. Por exemplo, as médias mensais das *OLRs* próximas à América do Sul (ilustradas na Figura 7 para os pontos 90W0S, 150W0S), durante os anos de 1982/1983. Pode-se apreciar a dinâmica do evento *El Niño* – que, neste caso, propaga-se de Oeste a Leste. A Figura 8 ilustra ainda a breve perturbação de 1981, que atingiu as duas regiões simultaneamente, praticamente sem intervalo de propagação – o que permite concluir que cada perturbação (associada ou não ao *El Niño*) tem seu próprio moto, e não parece existir um padrão regular de propagação entre as duas regiões.

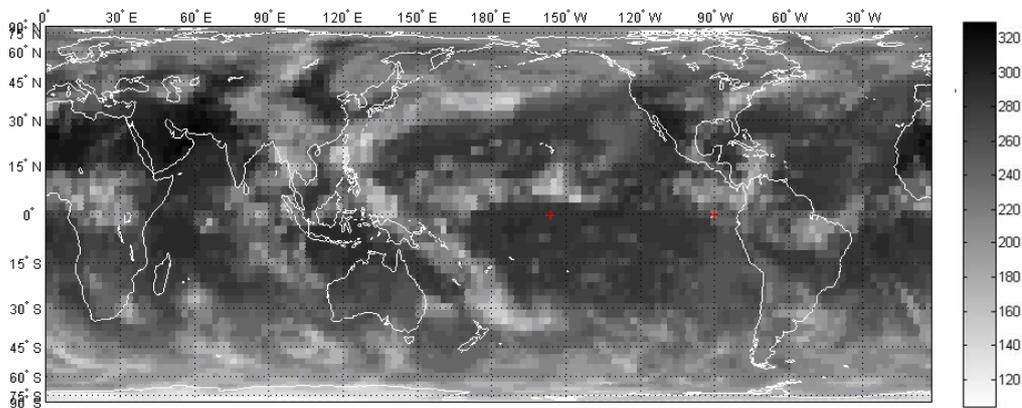


Figura 7 - Pontos de Análise para a Propagação do *El Niño*- 1982/1983

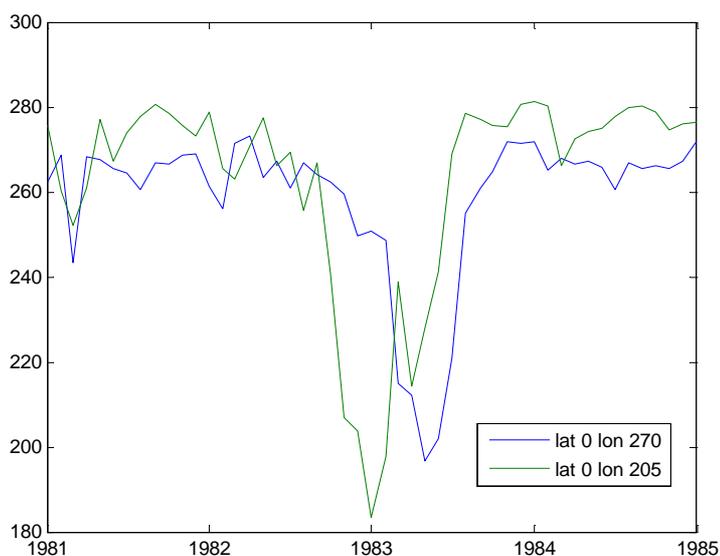


Figura 8 - Ilustração do evento *El Niño* 1982/1983 através do sinal da *OLR* [ $w\cdot m^{-2}$ ].

## **2.5. Conclusões**

Este capítulo apresentou o índice climatológico adotado neste trabalho: a *OLR* (Outgoing Longwave Radiation) – indicador da cobertura de nuvens, largamente utilizado para a identificação e caracterização dos fenômenos mais importantes e estudados na moderna climatologia.

O próximo passo será a realização de uma revisão da literatura, apresentando os métodos e modelos mais utilizados para a análise e previsão de sinais climatológicos.