



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **RELAÇÃO ENTRE A OSCILAÇÃO QUASE-BIENAL E O MODO ANULAR SUL**

**RELATÓRIO DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Maria Lívia Lins Mattos Gava (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [livialmg@hotmail.com](mailto:livialmg@hotmail.com)

Dr. Clovis Angeli Sansigolo (CPTEC/INPE, Orientador)  
E-mail: [clovis.sansigolo@cptec.inpe.br](mailto:clovis.sansigolo@cptec.inpe.br)

### **COLABORADORES**

Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos (IGEO/UFRJ)  
E-mail: [fecvasconcellos@gmail.com](mailto:fecvasconcellos@gmail.com)

Julho de 2017

## LISTA DE FIGURAS

3.1 Plotagem da série de dados nos níveis do índice SAM em relação ao tempo.....	10
3.2 Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de fevereiro.....	14
3.3 Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de abril.....	14
3.4 Compostos da Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de junho.....	15
3.5 Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de dezembro.....	15
3.6 :Plotagem da série de dados dos níveis do índice SAM (filtrado) em relação ao tempo.....	16

## LISTA DE TABELAS

3.1 Correlação do índice SAM entre os níveis.....	11
3.2 Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 30 hPa e QBO (sem defasagem).....	11
3.3 Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 200 hPa e QBO (sem defasagem).....	12
3.4 Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 500 hPa e QBO (sem defasagem).....	12
3.5 Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 700 hPa e QBO (sem defasagem).....	13
3.6 Relação entre as fases da QBO com as fases do SAM através dos índices (sem defasagem).....	13
3.7 Relação das fases da QBO com as fases do SAM através dos compostos (com defasagem de três meses).....	16
3.8 Correlação do índice SAM (filtrado) entre os níveis.....	17
3.9 Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 30 hPa e QBO (sem defasagem).....	17
3.10 Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 200 hPa e QBO (sem defasagem).....	18
3.11 Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 500 hPa e QBO (sem defasagem).....	18
3.12 Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 700 hPa e QBO (sem defasagem).....	19
3.13 Relação entre as fases da QBO com as fases do SAM através dos índices filtrados (sem defasagem).....	20

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. DADOS E METODOLOGIA.....</b>	<b>7</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Índices sem filtragem.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Índices filtrados.....</b>	<b>16</b>
<b>4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>5. ETAPAS FUTURAS.....</b>	<b>21</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>21</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na estratosfera equatorial (aproximadamente 16-50 km) prevalece um regime de variação na direção do vento zonal no sentido Leste-Oeste, que se propaga para a baixa estratosfera com o tempo, diminuindo a velocidade do vento com o decréscimo de altitude. Essa variação é conhecida como Oscilação Quase-Bienal (QBO) (ANGELL; KORSHOVER, 1964) e possui um período que varia de 22 a 34 meses, com média em torno de 28 meses (BALDWIN ET AL., 2001). A amplitude e o período da oscilação variam razoavelmente de ciclo para ciclo e a transição entre as fases Leste e Oeste, ocorrem entre 30 e 50 hPa (NAUJOKAT, 1986). A fase Leste da QBO é a mais intensa, caracterizando-se por ventos que sopram de leste para oeste. Analogamente, durante a fase Oeste os ventos sopram de oeste para leste e se propagam mais rapidamente para baixo favorecendo a prevalência dessa fase por mais tempo em níveis mais baixos da estratosfera (NAUJOKAT, 1986).

Vários estudos já foram realizados investigando os efeitos da QBO no clima. Gray (1984) investigou a aparente associação entre as fases da QBO e a temporada de furacões no Atlântico; e concluiu que durante a fase Oeste da QBO furacões são mais frequentes do que na fase Leste. Ebdon (1975) mostra que a fase Leste da QBO coincide com um aquecimento estratosférico súbito, jatos do Atlântico enfraquecidos, e invernos mais frios no norte da Europa e leste dos Estados Unidos, enquanto que a fase Oeste frequentemente está associada com inversos menos intensos no leste dos Estados Unidos, jatos do Atlântico mais intensos e invernos com um número elevado de tempestades no norte da Europa. Estudos apresentam ainda influências da QBO na variabilidade do El Niño- Oscilação Sul (ENOS) e das monções na região da África (GRAY ET AL., 1992; JURY ET AL., 1994).

Na região extratropical, o Modo Anular destaca-se como principal padrão de variabilidade climática nos extratropicais. Este fenômeno descreve uma oscilação Norte-Sul de massa atmosférica entre as latitudes médias e as regiões polares (GONG; WANG, 1999), em ambos os hemisférios, sendo então conhecido como Oscilação Ártica, ou Modo Anular Norte (NAM), no Hemisfério Norte e Oscilação Antártica ou Modo Anular Sul (SAM), no Hemisfério Sul (THOMPSON; WALLACE, 2000). A estrutura desse padrão de variabilidade é bem similar em ambos os hemisférios,

ocorrendo na troposfera em todos os meses do ano. O SAM atinge sua “fase ativa” - máximo em intensidade na estratosfera - ao final da primavera, enquanto que para o NAM esse estágio se dá durante o inverno boreal (THOMPSON; WALLACE, 2000). A fase positiva do Modo Anular é caracterizada por anomalias negativas de altura geopotencial sobre regiões polares e anomalias positivas em latitudes médias. O oposto ocorre durante a fase negativa (THOMPSON; WALLACE, 2000).

Diversos estudos investigam os impactos do SAM no clima do Hemisfério Sul. Gillet et al. (2006) fizeram uma investigação deste impacto e demonstraram que a fase positiva do SAM está associada a um significativo resfriamento na Antártica e boa parte da Austrália e aquecimento na Península Antártica, Argentina, Tasmânia e sul da Nova Zelândia. A fase positiva está associada também a condições secas anômalas sobre o sul da América do Sul, Nova Zelândia e Tasmânia, e condições chuvosas anômalas sobre a Austrália e África do Sul.

Vasconcelos e Cavalcanti (2010) analisaram a influência das fases do SAM na precipitação sobre parte da Região Sudeste do Brasil, durante o verão austral, através de compostos para anos extremos secos e chuvosos. E observaram que verões extremos chuvosos (secos) estão relacionados com a fase positiva (negativa) do SAM.

Embora seja um fenômeno tropical, a influência da QBO na estratosfera extratropical, principalmente no Hemisfério Norte. Van Loon e Labitzke (1987) e Holton e Tan (1982) sugerem que a fase Leste (Oeste) da QBO está associada a vórtices polares estratosféricos enfraquecidos (mais intensos). Baldwin e Tung (1994) e Holton e Tan (1982) relacionaram variáveis da estratosfera extratropical, como concentração da coluna de ozônio e momento angular, com o sinal da QBO. Para o Hemisfério Norte, Coughlin e Tung (2001) mostraram que existe uma influência estatisticamente significativa entre o sinal da QBO e cada nível do NAM, de 10 mb até 1000 mb, em que todos eles apresentam um pico com a mesma frequência da QBO. No entanto a relação entre o NAM e a QBO não está bem estabelecida para a superfície. Somente quando usadas apenas médias mensais e considerando os meses de inverno boreal (DJFM, quando a altura geopotencial apresenta maior variância) é que se torna possível encontrar um pico de mesma frequência entre as oscilações. Para essa análise os autores

utilizaram a transformada rápida de Fourier (FFT, sigla em inglês) com a janela de Hanning para processar os dados.

Apesar de estudos variados analisarem a relação entre a QBO e o Modo Anular, em geral, eles têm como foco o NAM. Poucos trabalhos relacionam a QBO com o SAM, especificamente. Como exemplo, Roy e Haigh (2011) que utilizaram um modelo de regressão para analisar a influência de diversos fatores no SAM, dentre eles um índice que combina a atividade solar e as fases da QBO (solar\*QBO). A partir dos resultados obtidos, eles mostram um sinal robusto da influência do índice solar\*QBO, no entanto não apresentam resultados de como ele influencia o SAM. Roy e Haigh (2011) também analisam os efeitos desse índice (solar-QBO) no SAM. Eles mostram que a combinação de uma baixa atividade solar durante a fase Oeste da QBO e alta atividade solar durante a fase Leste da QBO estão associados ao fortalecimento das fases dos modos polares (fase positiva do SAM e do NAM). Enquanto que a combinação contrária corresponde ao enfraquecimento dos mesmos (fase negativa do SAM e do NAM).

Desta forma, entender a possível relação entre a QBO e o SAM pode contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica troposfera-estratosfera e também para conhecer melhor os impactos desses dois fenômenos no clima. Além de poder auxiliar na melhoria da previsão climática. Tendo isso em vista, esse trabalho tem como objetivo cooperar para um melhor entendimento dessa relação, através de análises estatísticas entre os índices SAM, em diversos níveis da atmosfera, e o índice QBO.

## **2. DADOS E METODOLOGIA**

Nesse estudo foram usadas saídas mensais do geopotencial e da componente zonal vento da Reanálise Era-Interim do *European Centre for Medium-Range WeatherForecasts* (ECMWF). A resolução horizontal utilizada foi de 0,5° x 0,5° lat./lon e o período considerado para o estudo, de 1981-2010. Maiores informações sobre essa reanálise podem ser obtidas em Dee et al. (2011).

Após a obtenção dos dados, foram calculados, primeiramente o índice da QBO e os índices SAM para 4 diferentes níveis na troposfera e estratosfera sendo eles: 700, 500, 200 e 30 hPa. O índice SAM em cada nível foi obtido a partir da Função Ortogonal

Empírica (*Empirical Orthogonal Function - EOF*), da anomalia de altura geopotencial nos níveis selecionados, no intervalo de latitude de 30°-90°S. Na literatura, o índice SAM é calculado a partir das anomalias de altura geopotencial entre 20°-90°S (e.g. THOMPSON; WALLACE, 2000). Neste trabalho, a área foi reduzida para 30°-90°S, de forma a minimizar a influência de fenômenos da região tropical, como por exemplo, o ENOS, no cálculo do EOF.

O conceito de EOF foi introduzido por Lorenz (1986) como metodologia ao realizar um estudo com a finalidade de encontrar uma maneira eficaz de extrair uma representação simplificada ou compacta de um conjunto de dados. O objetivo era uma representação otimizada do estado da atmosfera, em função do tempo e do espaço, ou seja, uma sequência temporal de campos meteorológicos. Através do método de EOF, pode-se obter padrões espaciais de variabilidade e a variação temporal de um único campo escalar (BJÖRNSSON; VENEGAS, 1997). A série temporal do índice SAM em cada nível foi obtida através da primeira Componente Principal (CP) do EOF do nível correspondente. Os valores positivos (negativos) do índice SAM representam anomalias positivas (negativas) de altura geopotencial nas latitudes médias e anomalias negativas (positivas) em altas latitudes, ou seja, a fase positiva (negativa) do SAM. Quando o padrão da EOF apresentou o sinal oposto ao citado acima, a série temporal da CP foi multiplicada por -1. Essa metodologia foi baseada no trabalho de Baldwin e Thompson (2009) e na metodologia aplicada para o cálculo do índice SAM fornecido pelo *Climate Prediction Center (CPC)/National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* ([http://w0ww.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/history/method.shtml](http://w0ww.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml))

Para verificar a coerência dos índices SAM calculados em vários níveis, confeccionou-se gráficos com as séries temporais e calculou-se as correlações entre os índices de cada nível.

Para o cálculo do índice da QBO realizou-se uma média zonal (0°-360°) da velocidade da componente zonal do vento, na latitude 0°, para o nível de 30 hPa. Na fase Leste, os valores do índice são negativos, enquanto que na fase Oeste os valores são positivos. Essa metodologia foi baseada no trabalho de Naujokat (1986).

Com os índices calculados, foram realizadas comparações entre as séries temporais do índice QBO e dos índices SAM através de tabelas de contingência sem defasagem, e com defasagem de 3 meses.

A partir dos anos extremos para cada fase da QBO, confeccionou-se compostos da anomalia de altura geopotencial a fim de verificar um possível padrão SAM nesses compostos. Os compostos foram confeccionados sem defasagem, e com defasagem de 3 meses.

O SAM é um padrão que sofre influência de diversas escalas temporais (SCHENZINGER; OSPREY, 2015). Sua série temporal é um resultado do somatório dessas influências diversas. A QBO é um padrão de baixa frequência e uma vez que deseja observar uma possível relação entre ambos os padrões, torna-se interessante comparar não somente as séries em seu estado natural, mas também utilizando um filtro para extrair do índice SAM de cada nível a variabilidade de alta frequência. Após análise, decidiu-se por utilizar a média móvel, como o método de filtragem da alta frequência. A média móvel é um filtro linear simples que converte uma série temporal  $\{X_t\}$ , em outra  $\{Y_t\}$ , pela operação linear:

$$Y_t = \sum_{r=-q}^{+s} a_r x_{t+r}$$

Na equação acima  $q$  e  $s$  representam os limites do somatório, para esse estudo  $q=s$ .  $X$  representa a série que será filtrada,  $Y$  a série resultante e  $a_r$  são os pesos utilizados na média móvel. Para esse estudo os pesos usados são dados pela expansão de  $\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right)^{2q}$ , pois dessa maneira o peso dos termos mais próximos ao central são maiores, dando a eles maior importância. Para a filtragem da série foi utilizado  $q=4$ , considerando que conforme o  $q$  aumenta, os termos mais distantes do central ficam cada vez menores em relação a este, de forma que se tornam desprezíveis para o cálculo. Essa metodologia é descrita em Chatfield (1984).

Após a filtragem, novamente verificou-se a coerência dos índices SAM calculados em vários níveis através de gráficos com as séries temporais e do cálculo das correlações entre os índices de cada nível.

Foram confeccionadas então novas tabelas de contingência para comparação dos índices QBO e SAM. Novamente com e sem defasagem de 3 meses. Para a confecção das tabelas nesta etapa, o número de dados foi reduzido por causa do filtro utilizado, em que se perdem os primeiros e últimos 4 meses.

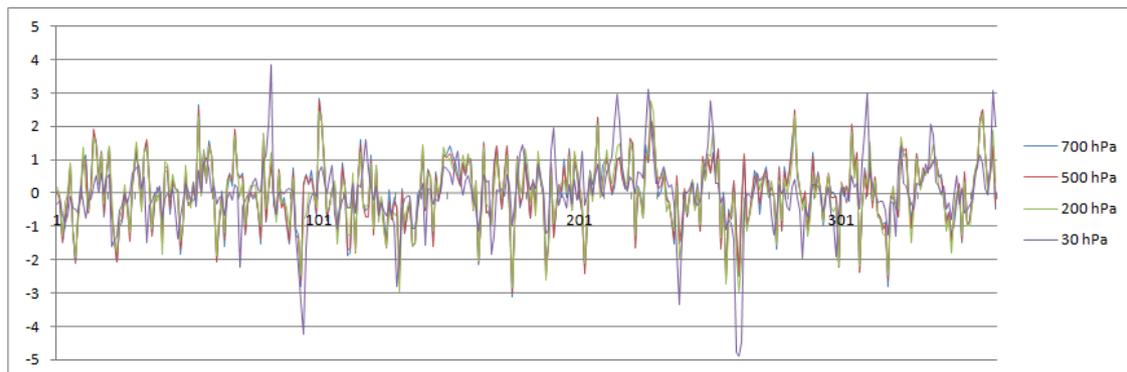
### 3. RESULTADOS

Os resultados foram divididos em duas seções: utilizando os dados sem (Seção 3.1) e com filtragem (Seção 3.2).

#### 3.1. Índices sem filtragem

Antes de discutir os resultados das tabelas de contingência devemos ressaltar o fato de que a frequência das fases do SAM em relação às fases da QBO varia ligeiramente de nível para nível. A explicação para isso pode ser observada na Figura 3.1 e na Tabela 3.1 que expõem a série de dados do índice SAM nos níveis em que este foi calculado, e a correlação entre eles. O que observamos tanto na figura quanto na tabela se deve ao fato de o sinal do SAM surgir primeiro na estratosfera e se propagar para baixo com o tempo, de maneira que num mesmo mês a propagação até os níveis mais baixos pode não ter se dado por completa ainda.

**Figura 3.1:** Plotagem da série de dados dos níveis do índice SAM em relação ao tempo.



**Tabela 3.1:** Correlação do índice SAM entre os níveis.

Correlação entre os níveis	
30 hPa-200 hPa	0,61
30 hPa-500 hPa	0,47
30 hPa- 700 hPa	0,48
200 hPa- 500 hPa	0,96
200 hPa- 700 hPa	0,94
500 hPa- 700 hPa	0,99

As Tabelas 3.2.-3.5 correspondem às tabelas de contingência para todos os meses, sem defasagem, nos níveis 30, 200, 500 e 700 hPa (índice SAM) respectivamente. O quadrado acima, à esquerda corresponde aos casos de ocorrência de fase negativa do SAM durante a fase Leste da QBO; o quadrado acima, à direita corresponde aos casos de ocorrência de fase negativa do SAM durante a fase Oeste da QBO; o quadrado de baixo, à esquerda corresponde aos casos de ocorrência de fase positiva do SAM durante a fase Leste da QBO; e o quadrado de baixo, à direita corresponde aos casos de ocorrência de fase positiva do SAM durante a fase Oeste da QBO. As tabelas de contingência apresentadas são referentes à análise sem defasagem, por apresentarem algum padrão nos resultados. As tabelas com defasagem de 3 meses não apresentaram nenhum padrão relevante (não mostrado).

**Tabela 3.2:** Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 30 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	11	4
	POS   NEG	7	8
Janeiro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	9	8
	POS   NEG	6	7
Fevereiro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	3	10
	POS   NEG	9	8
Março			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	4	12
	POS   NEG	9	5
Abril			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	9	6
	POS   NEG	8	7
Maio			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	11	4
	POS   NEG	9	6
Junho			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	10	3
	POS   NEG	11	6
Julho			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	9	5
	POS   NEG	9	7
Agosto			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	7	3
	POS   NEG	10	10
Setembro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	8	4
	POS   NEG	10	8
Outubro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	11	4
	POS   NEG	7	8
Novembro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS   NEG	15	3
	POS   NEG	3	9
Dezembro			

**Tabela 3.3:** Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 200 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	5
	NEG	7	7

Janeiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	5	10

Fevereiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	6	10
	NEG	6	8

Março

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	5	10
	NEG	8	7

Abril

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	6
	NEG	8	7

Maio

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	5
	NEG	11	5

Junho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	3
	NEG	10	6

Julho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	4
	NEG	9	8

Agosto

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	7	8

Setembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	6	6
	NEG	12	6

Outubro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	5
	NEG	7	7

Novembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	3
	NEG	7	9

Dezembro

**Tabela 3.4:** Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 500 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	5
	NEG	10	7

Janeiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	5
	NEG	6	10

Fevereiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	6	10
	NEG	6	8

Março

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	7	11
	NEG	6	6

Abril

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	6
	NEG	8	7

Maio

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	10	5

Junho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	3
	NEG	10	6

Julho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	4
	NEG	9	8

Agosto

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	5
	NEG	6	8

Setembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	7	6
	NEG	11	6

Outubro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	5
	NEG	9	7

Novembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	4
	NEG	9	8

Dezembro

**Tabela 3.5:** Tabela de contingência entre os índices SAM para o nível de 700 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	6
	NEG	10	6

Janeiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	6
	NEG	7	9

Fevereiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	5	11
	NEG	7	7

Março

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	7	10
	NEG	6	7

Abril

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	7
	NEG	9	6

Maio

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	10	5

Junho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	3
	NEG	9	6

Julho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	3
	NEG	10	9

Agosto

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	5
	NEG	4	8

Setembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	7	6
	NEG	11	6

Outubro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	5
	NEG	9	7

Novembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	4
	NEG	9	8

Dezembro

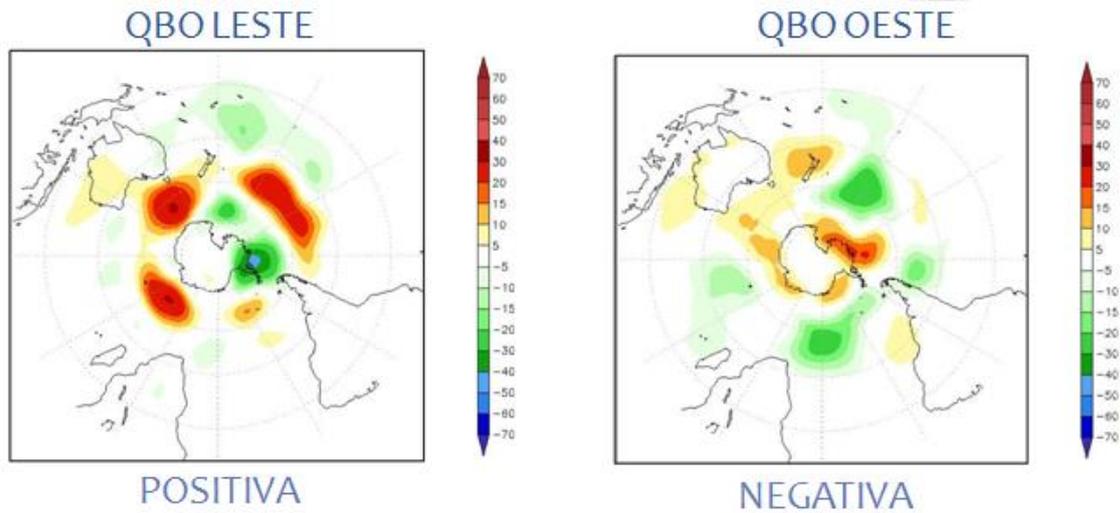
A partir do uso das tabelas de contingência, procurávamos os meses que relacionavam uma das fases da QBO à uma determinada fase da SAM. Nesses casos o que é observado nas tabelas é uma distribuição enviesada dos eventos. Com o auxílio da Tabela 3.6, podemos ver que em sua maioria o padrão que se apresenta é a fase negativa do SAM relacionada à fase Leste da QBO, ao passo que a fase positiva do SAM está relacionada à fase Oeste da QBO. Os meses que não constam na tabela, não o fazem por não apresentarem um comportamento enviesado.

**Tabela 3.6:** Relação entre as fases da QBO com as fases do SAM através dos índices (sem defasagem).

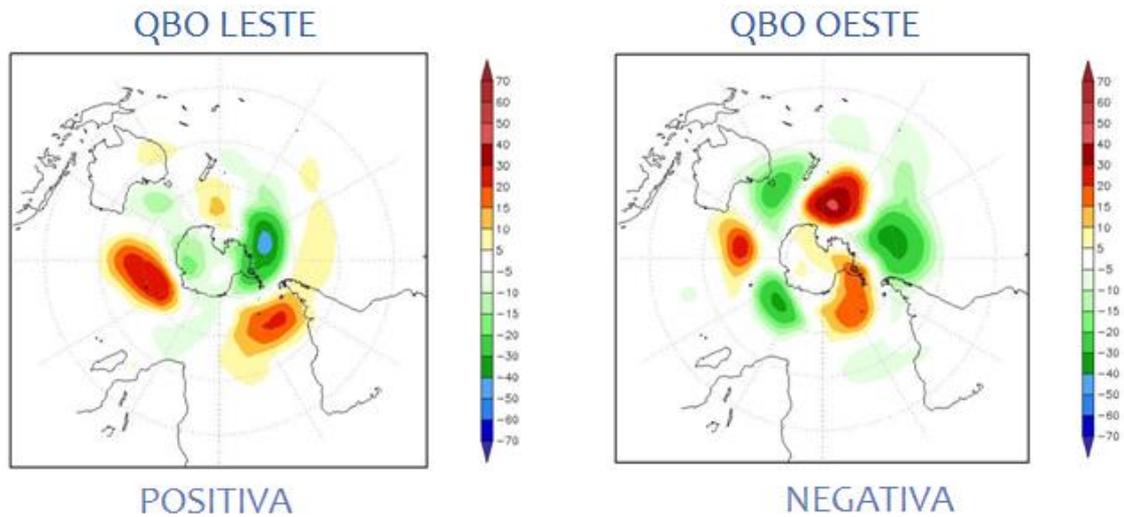
	QBO LESTE / SAM NEGATIVO QBO OESTE / SAM POSITIVO	QBO LESTE / SAM POSITIVO QBO OESTE / SAM NEGATIVO
30 hPa	Jan, Mai, Jun, Nov, Dez	Mar, Abr
200 hPa	Jan, Fev, Mai, Jul, Set, Nov, Dez	Abr
500 hPa	Fev, Mai, Jul, Set	
700 hPa	Fev, Jul, Set	Mar, Mai

As Figuras 3.2-3.5, correspondem aos compostos feitos com as anomalias de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses. As Figuras apresentadas foram escolhidas por apresentarem os resultados mais satisfatórios.

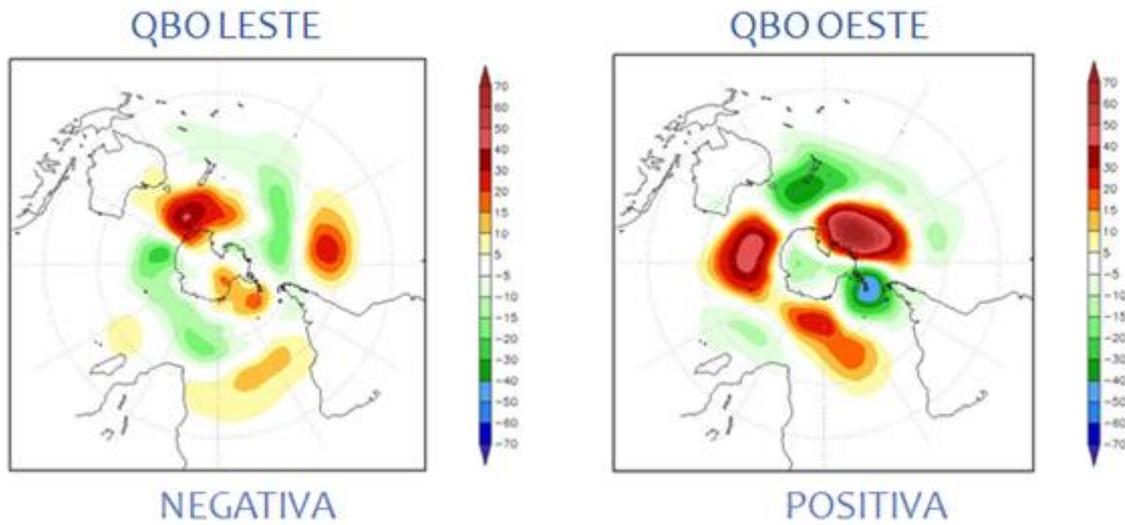
**Figura 3.2:** Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de fevereiro.



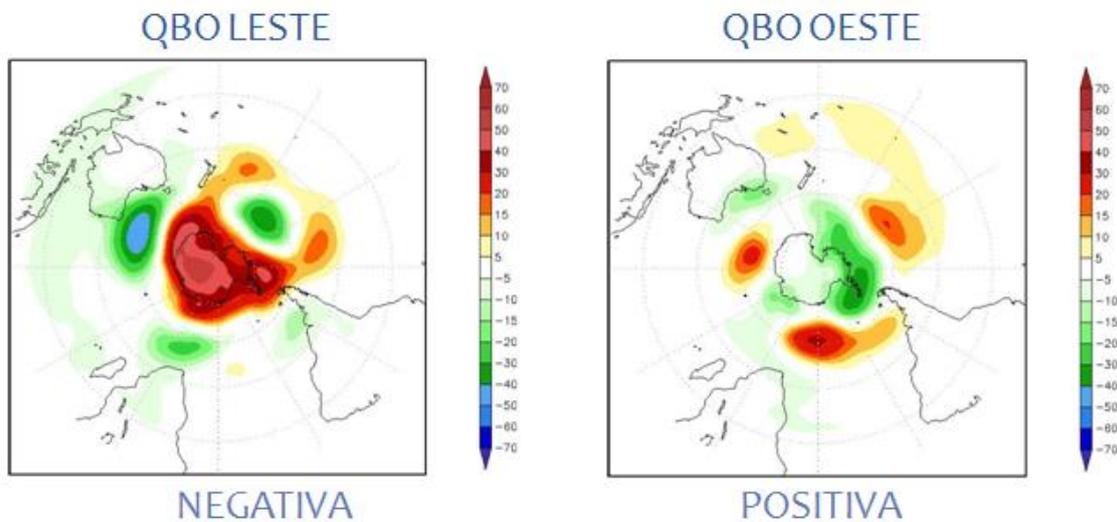
**Figura 3.3:** Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de abril.



**Figura 3.4:** Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de junho.



**Figura 3.5:** Compostos da anomalia de altura geopotencial no nível de 700 hPa, com defasagem de 3 meses, para o mês de dezembro.



Com o uso dos compostos procurávamos encontrar um padrão do SAM que se apresentasse utilizando os meses extremos (que apresentaram maior magnitude de velocidade da componente zonal) de cada fase da QBO.

Utilizando a Tabela 3.7 podemos ver os padrões que foram encontrados para todos os meses do ano. Os que se destacam por ter um comportamento alternado da fase do SAM com a variação da fase da QBO são os meses de fevereiro, abril, junho e

dezembro. Sendo que os dois últimos apresentam comportamento inverso ao dos dois primeiros. Lembrando que os compostos apresentados possuem uma defasagem de 3 meses.

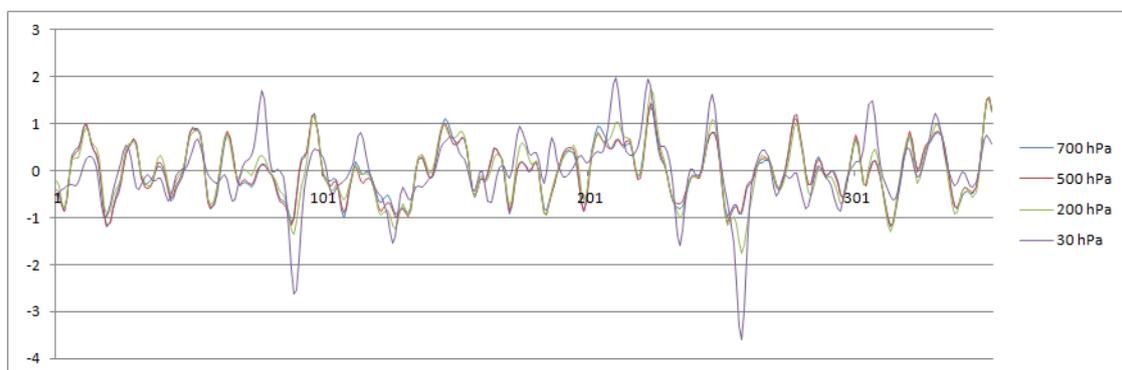
**Tabela 3.7:** Relação das fases da QBO com as fases do SAM através dos compostos (com defasagem de três meses).

MÊS	QBO LESTE	QBO OESTE	MÊS	QBO LESTE	QBO OESTE
Janeiro	Negativa	Negativa	Julho	Não Conf.	Positiva
Fevereiro	Positiva	Negativa	Agosto	Positiva	Não Conf.
Março	Não Conf.	Positiva	Setembro	Não Conf.	Positiva
Abril	Positiva	Negativa	Outubro	Positiva	Não Conf.
Maio	Negativa	Negativa	Novembro	Negativa	Não Conf.
Junho	Negativa	Positiva	Dezembro	Negativa	Positiva

### 3.2. Índices filtrados

Como explicado na seção anterior, aqui encontramos também uma pequena diferença na distribuição das fases do SAM em cada nível em relação as fases da QBO. Explicação que se dá similarmente como a descrita na seção anterior, e que pode ser observada na Figura 3.6 e Tabela 3.8.

**Figura 3.6:** Plotagem da série de dados dos níveis do índice SAM (filtrado) em relação ao tempo.



**Tabela 3.8:** Correlação do índice SAM (filtrado) entre os níveis.

Correlação entre os níveis	
30 hPa-200 hPa	0,74
30 hPa-500 hPa	0,59
30 hPa- 700 hPa	0,60
200 hPa- 500 hPa	0,96
200 hPa- 700 hPa	0,95
500 hPa- 700 hPa	0,99

As Tabelas 3.9-3.12 correspondem às tabelas de contingência para todos os meses, sem defasagem, nos níveis 30, 200, 500 e 700 hPa (índice SAM filtrado), respectivamente. Estão organizadas da mesma maneira das que foram elaboradas com os dados sem filtragem.

**Tabela 3.9:** Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 30 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	3
	NEG	5	8
Janeiro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	8
	NEG	5	6
Fevereiro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	3	12
	NEG	9	5
Março			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	4	9
	NEG	9	7
Abril			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	6
	NEG	8	7
Maio			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	5
	NEG	9	5
Junho			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	11	4
	NEG	10	5
Julho			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	3
	NEG	6	9
Agosto			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	5	8
Setembro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	6	7
Outubro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	6	7
Novembro			
		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	3
	NEG	5	8
Dezembro			

**Tabela 3.10:** Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 200 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	14	5
	NEG	4	6

Janeiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	8
	NEG	5	6

Fevereiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	6	10
	NEG	6	7

Março

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	4	9
	NEG	9	7

Abril

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	7
	NEG	7	6

Maio

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	3
	NEG	7	7

Junho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	9	5

Julho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	8	6

Agosto

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	3
	NEG	7	9

Setembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	6	7

Outubro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	8	6

Novembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	2
	NEG	5	9

Dezembro

**Tabela 3.11:** Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 500 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	5
	NEG	5	6

Janeiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	8
	NEG	6	6

Fevereiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	7	8
	NEG	5	9

Março

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	5	9
	NEG	8	7

Abril

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	6
	NEG	7	7

Maio

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	14	3
	NEG	6	7

Junho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	9	5

Julho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	9	6
	NEG	9	6

Agosto

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	4
	NEG	7	8

Setembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	6
	NEG	6	5

Outubro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	8	6

Novembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	3
	NEG	6	8

Dezembro

**Tabela 3.12:** Tabela de contingência entre os índices SAM (filtrado) para o nível de 700 hPa e QBO (sem defasagem).

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	13	5
	NEG	5	6

Janeiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	8
	NEG	7	6

Fevereiro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	6	8
	NEG	6	9

Março

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	5	8
	NEG	8	8

Abril

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	6
	NEG	7	7

Maio

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	14	3
	NEG	6	7

Junho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	4
	NEG	9	5

Julho

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	8	6
	NEG	10	6

Agosto

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	4
	NEG	7	8

Setembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	5
	NEG	6	6

Outubro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	10	5
	NEG	8	6

Novembro

		QBO	
		LESTE	OESTE
SAM	POS	12	3
	NEG	6	8

Dezembro

Assim como na aplicação das tabelas de contingência para os dados sem filtragem, ao analisar as tabelas procurávamos os meses que relacionavam uma das fases da QBO à uma determinada fase da SAM. E o padrão que representa esse comportamento apresenta uma distribuição enviesada dos eventos. A Tabela 3.13 foi confeccionada a partir dos resultados das tabelas de contingência, em uma coluna estão listados os meses que apresentaram a fase negativa do SAM mais frequente durante a fase Leste da QBO, enquanto a fase positiva do SAM se dá com mais frequência na fase Oeste da QBO, na outra, os meses que tiveram o padrão oposto. Essa tabela foi feita com o intuito de facilitar a visualização dos resultados obtidos. O que podemos observar a partir dela é que o padrão mais frequente é o que apresenta a fase negativa do SAM relacionada à fase Leste da QBO, e a fase positiva do SAM relacionada à fase Oeste da QBO (os meses que não constam não tabela, não o fazem por não apresentarem uma distribuição enviesada).

**Tabela 3.13:** Relação entre as fases da QBO com as fases do SAM através dos índices filtrados (sem defasagem).

	QBO LESTE / SAM NEGATIVO QBO OESTE / SAM POSITIVO	QBO LESTE / SAM POSITIVO QBO OESTE / SAM NEGATIVO
30 hPa	Jan, Mai, Jul, Ago, Set, Out, Nov, Dez	Mar, Abr
200 hPa	Jan, Jun, Jul, Ago, Set, Out, Nov, Dez	Abr
500 hPa	Jan, Mar, Mai, Jun, Jul, Set, Nov, Dez	Abr
700 hPa	Jan, Mai, Jun, Jul, Set, Out, Nov, Dez	

Além do padrão enviesado observado nas tabelas de contingência, podemos observar também uma maior frequência absoluta da fase negativa do SAM durante a fase Leste da QBO, com exceção dos meses de março e abril, nos níveis de 30, 200 e 500 hPa, e março, abril e agosto no nível de 700 hPa. Comportamento que não foi observado nas tabelas de contingência com os dados sem filtragem.

#### 4. Discussão e Conclusão

Como apresentado nos resultados das tabelas de contingência sem defasagem, tanto para as que foram feitas com os dados sem filtragem quanto para as com os dados filtrados, na maioria dos meses a fase negativa da SAM é mais frequente durante a fase Leste da QBO e a fase positiva da SAM mais frequente durante a fase Oeste da QBO, resultado que indica uma relação entre os sinais destas oscilações. Ao observar as tabelas de contingência com os dados filtrados, vemos uma maior homogeneidade nos resultados, o que possivelmente acontece por ter sido removido da série as altas frequências. Vemos ainda uma maior frequência absoluta da fase negativa do SAM durante a fase Leste da QBO, comportamento que não foi observado nas tabelas de contingência com os dados sem filtragem. Esses resultados são coerentes com diversos outros encontrados na literatura que relacionam a QBO e o NAM, em que durante a fase Leste da QBO encontram-se anomalias de pressão positivas sobre o Ártico e anomalias negativas sobre latitudes temperadas, o que corresponde a fase negativa do NAM (EBDON, 1975; HOLTON; TAN, 1980; RUZMAIKIN ET AL., 2005; WALLACE; GUTZLER, 1980). Ao analisar os compostos feitos, os que apresentaram melhor resultado foram os com defasagem de 3 meses. Para os compostos a interação entre as

duas oscilações não fica clara, variando de mês para mês. Sem que se possa tirar informações que auxiliem na ratificação dos resultados obtidos com as tabelas.

## 5. Etapas Futuras

Para dar continuidade a este trabalho de iniciação científica, uma vez identificada uma possível relação entre os dois padrões de teleconexão, está planejada uma análise estatística mais aprofundada dessa relação utilizando ondaletas e ondaletas cruzadas entre os índices da QBO e do SAM (em diversos níveis).

## 6. Bibliografia

ANGELL, J. K.; KORSHOVER, J. Quasi-biennial variations in temperature, total ozone, and tropopause height. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 21, n. 5, p. 479-492, 1964.

BALDWIN, M. P. ET AL. The quasi-biennial oscillation. **Reviews of Geophysics**, v. 39, n. 2, p. 179-229, 2001.

BALDWIN, M. P.; THOMPSON, D. W. J. A critical comparison of stratosphere–troposphere coupling indices. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 135, n. 644, p. 1661-1672, 2009.

BALDWIN, M. P.; TUNG, K-K. Extra-tropical QBO signals in angular momentum and wave forcing. **Geophysical research letters**, v. 21, n. 24, p. 2717-2720, 1994.

BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S. A. **A manual for EOF and SVD analysis of climatic data**. Montreal: McGill University, 1997. 247 p.

CHATFIELD, C. **The Analysis of Time Series: An Introduction**. Chapman and Hall, 1989. 241 p.

COUGHLIN, K.; TUNG, K-K. QBO signal found at the extratropical surface through northern annular modes. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 24, p. 4563-4566, 2001.

DEE, D. P. ET AL. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, p. 553–597, 2011.

EBDON, R. A. The quasi-biennial oscillation and its association with tropospheric circulation patterns. **Meteorological Magazine**, v. 104, p. 282-297, 1975.

GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 23, 2006.

GRAY, W. M. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences. **Monthly Weather Review**, v. 112, n. 9, p. 1649-1668, 1984.

GRAY, W. M.; SHEAFFER, J. D.; KNAFF, J. A. Influence of the stratospheric QBO on ENSO variability. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 70, n. 5, p. 975-995, 1992.

GONG, D.; WANG, S. Definition of Antarctic Oscillation index. **Geophysical Research Letters**, v. 26, p. 459–462, 1999.

HOLTON, J. R.; TAN, H-C. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 37, n. 10, p. 2200-2208, 1980.

HOLTON, J. R.; TAN, H-C. The quasi-biennial oscillation in the Northern Hemisphere lower stratosphere. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 60, p. 140-148, 1982.

JURY, M. R.; MC QUEEN, C.; LEVEY, K. SOI and QBO signals in the African region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 50, n. 1, p. 103-115, 1994.

LORENZ, E. N. Rotation of principal components. **International Journal of Climatology**, v. 6, n. 3, p. 293–335, 1986. Article review of: Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Science Report 1, Statistical Forecast Project. Depto. of Meteorology. Mass: Institute of Technology, 1956.

NAUJOKAT, B. An update of the observed quasi-biennial oscillation of the stratospheric winds over the tropics. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 17, p. 1873-1877, 1986.

ROY, I.; HAIGH, J. D. The influence of solar variability and the quasi-biennial oscillation on sea level pressure. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 10, n. 12, p. 30453-30471, 2011.

RUZMAIKIN, A. et al. Extratropical signature of the quasi-biennial oscillation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 110, n. D11, 2005.

SCHENZINGER, V.; OSPREY, S. M. Interpreting the nature of Northern and Southern Annular Mode variability in CMIP5 Models. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 21, 2015.

THOMPSON, D. W.; WALLACE, J. M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. **Journal of climate**, v. 13, n. 5, p. 1000-1016, 2000.

VAN LOON, H.; LABITZKE, K. The Southern Oscillation. Part V: The anomalies in the lower stratosphere of the Northern Hemisphere in winter and a comparison with the quasi-biennial oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 2, p. 357-369, 1987.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, n. 1, p. 21-26, 2010.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 4, p. 784-812, 1981.