



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº MET - UFAL - MS – 127

WIALLY ROGER TAVARES SANTOS

VARIABILIDADE DO ALBEDO PLANETÁRIO NA AMÉRICA DO SUL

**MACEIÓ - ALAGOAS
2015**

WIALLY ROGER TAVARES SANTOS

Nº MET - UFAL - MS - 127

VARIABILIDADE DO ALBEDO PLANETÁRIO NA AMÉRICA DO SUL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Professor Doutor Luiz Carlos Baldicero Molion

**MACEIÓ - ALAGOAS
2015**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

S237v Santos, Wially Roger Tavares.
Variabilidade do albedo planetário na América do Sul / Wially Roger Tavares Santos. – Maceió, 2015.
46 f. : il.

Orientador: Luiz Carlos Baldicero Molion.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Maceió, 2015.

Bibliografia: f. 42-46.

1. Dinâmica do clima. 2. Albedo planetário. 3. El Niño - Oscilação Sul (ENOS). 4. Nuvens. I. Título.

CDU: 551.521.14



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-127.

“VARIABILIDADE DO ALBEDO PLANETÁRIO NA AMÉRICA DO SUL”

Wially Roger Tavares Santos

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Orientador)

Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace
(Membro Interno- ICAT)

Prof. Dr. Nelson de Jesus Ferreira
(Membro Externo – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)

Julho/2015

Dedico esse trabalho a todos aqueles que estiveram comigo, nos momentos de alegrias e especialmente nos momentos difíceis, onde pude ajudar e ser ajudado.

AGRADECIMENTOS

A minha filha Laura Sophia e minha maravilhosa esposa, Luana Tavares, por sempre estar ao meu lado, incentivando-me a galgar cada vez mais os degraus do sucesso.

Ao professor Molion pela oportunidade de ser seu discípulo e poder disseminar os diversos caminhos da Ciência em especial a Climatologia.

Ao amigo Igor Fernandes, pelas diversas caronas.

Aos amigos de guerra, Anderlan Siqueira, Thiago Vanderley, Bruno Guimarães e Maurílio Neemias.

Ao amigo Alessandro Tenório pelas dicas quase nunca acatadas.

Aos eternos amigos e irmãos desde 1998 quando fazíamos parte da turma 2213A (CEFET) e também da Meteoro (UFAL) Cristiano Cardoso e Adriano Fernandes.

Aos amigos de laboratório, Renato Costa e Tamyres.

Aos professores Frederico Di Pace, Nelson de Jesuz, Luciene Dias, Manoel Toledo (*in memoriam*) e Ricardo Amorin.

Aos demais amigos do ICAT, Severino, Silvia Santos, Dario, Arthur, Antônio, Davi, Dimas, Henrique, Abel, Ricardo, Aninha, Nayara e Emerson.

Aos amigos de curso, Marcelo Favacho, Adriano, Marney, Carol, Gualberto, Arturo, Isabela, Isela, Vinícius e Valesca.

A minha mãe Margarida e ao senhor que na iminência de completar 60 anos de idade esbanja determinação e coragem ao enfrentar uma segunda faculdade cursando Direito e sendo exemplo para todos os familiares, colegas de trabalho e de curso, José Tavares, meu pai.

“Viver é enfrentar um problema atrás do outro. O modo como você o encara é que faz a diferença.”

Benjamin Franklin

“Para os crentes, Deus está no princípio das coisas. Para os cientistas, no final de toda reflexão.”

Max Planck

RESUMO

A Dinâmica do Clima tem sua origem devido a energia radiante emitida pelo Sol. Essa energia radiada, ao interagir com a superfície terrestre, resulta nas interações oceano-terra-atmosfera. O ENOS (El Niño- Oscilação Sul) é um fenômeno resultante da interação oceano-atmosfera, o mesmo é considerado uma forçante climática, pois atenua ou acelera as circulações resfriando ou aquecendo o planeta. O albedo planetário tem papel fundamental para a manutenção do equilíbrio climático e tem o fator nuvens como a componente principal e mais complexa para o entendimento da Dinâmica do Clima. O CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) é um projeto com a finalidade de avaliar as propriedades das nuvens bem como através de mapeamento, encontrar respostas sobre sua influência no clima. O objetivo desse trabalho tem como foco avaliar a oscilação do albedo planetário para a América do Sul em período de El Niño e La Niña, correlacionando-o com o IME (Índice Multivariados de ENOS) e o IOS (Índice de Oscilação Sul) . Os resultados para a análise exploratória de dados mostram uma grande diversidade nos valores do albedo planetário para todas as regiões estudadas durante o ano e em especial para regiões onde o EL Niño e La Niña são influenciáveis. As correlações do albedo com os índices indicadores de ENOS apontam uma melhor correlação quando se antecipa em um mês. Para análise com ondeletas os resultados apontam uma condição comum a sazonalidade e em condições de ENOS. Já, para análise das componentes principais, o resultado mostra uma relação indireta entre a região central e mais ao Sul, sugerindo uma condição normal aos padrões da circulação atmosférica.

Palavras – Chaves: Albedo Planetário. ENOS. Nuvens.

ABSTRACT

The Climate Dynamics has its origin due to radiant energy emitted by the sun. This radiated energy interacting with the Earth's surface results in ocean-land-atmosphere interactions. The ENSO (El Niño - Southern Oscillation) is a phenomenon resulting from ocean-atmosphere interaction, it is considered a climate forcing, because it reduces or accelerates the circulation cooling or warming the planet. The planetary albedo plays a key role in maintaining the climate balance and has clouds factor as the main and most complex component for understanding climate dynamics. The CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) is a project devoted to evaluating the properties of clouds as well as through mapping, find answers about their influence on the climate. This study aims at evaluating the oscillation of the planetary albedo to South America in times of El Niño and La Niña, correlating it with the MEI (Multivariate Enso Index) and the SOI (Southern Oscillation Index). Results for exploratory data analysis show a great diversity in the values of the planetary albedo of all regions studied during the year and especially for regions where El Niño and La Niña are influenced. The albedo of correlations with indicators of ENSO indices show a better correlation when you anticipate in a month. For analysis with wavelet the results indicate common condition seasonality and conditions of ENSO. As for principal component analysis the result shows an indirect relationship between the central region and further south, suggesting a normal condition to atmospheric circulation patterns.

Keywords: Planetary Albedo. ENSO. Clouds.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1:** MÉDIA DO ALBEDO PLANETÁRIO EM CONDIÇÕES DE CÉU CLARO ENTRE MARÇO DE 2000 E OUTUBRO DE 2005 UTILIZANDO DADOS DO CERES.....6
- FIGURA 2:** MÉDIA DO ALBEDO PLANETÁRIO EM CONDIÇÕES DE CÉU COM PRESENÇA DE NUVENS ENTRE MARÇO DE 2000 E OUTUBRO DE 2005 UTILIZANDO DADOS DO CERES. ..8
- FIGURA 3:** ILUSTRAÇÃO DO SATÉLITE TERRA E O SCANNER CERES (A) E DETALHE SCANNER CERES (B)..... 10
- FIGURA 4:** CONDIÇÕES SOBRE O OCEANO PACÍFICO DOS FENÔMENOS EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL (ENOS). EM (A) CONDIÇÃO DE LA NIÑA, EM (B) CONDIÇÃO NORMAL E EM (C) CONDIÇÃO DE EL NIÑO. 12
- FIGURA 5:** CLIMATOLOGIA DOS FENÔMENOS EL NIÑO/LA NIÑA NA AMÉRICA DO SUL. EM (A) IMPACTOS DO EL NIÑO PARA OS MESES DE DEZ/JAN/FEV, (B) JUN/JUL/AGO. EM (C) IMPACTOS DO LA NIÑA NOS MESES DE DEZ/JAN/FEV E (D) JUN/JUL/AGO..... 13
- FIGURA 6:** DESVIO PADRONIZADO DA VARIAÇÃO VERSUS O TEMPO PARA ENOS..... 16
- FIGURA 7:** LOCALIZAÇÃO DO CONTINENTE SUL AMERICANO NO GLOBO..... 17
- FIGURA 8:** GRÁFICO DA DISPERSÃO EM COORDENADAS CARTESIANAS, EM (A) CORRELAÇÃO LINEAR POSITIVA, EM (B) CORRELAÇÃO LINEAR NEGATIVA E EM (C) CORRELAÇÃO NULA. F, (D) CORRELAÇÃO NÃO LINEAR OU QUADRÁTICA. 19
- FIGURA 9:** DIVISÃO DA AMÉRICA DO SUL EM 13 ÁREAS DE 10° DE LATITUDE POR 10° LONGITUDE, APROXIMADAMENTE 1000 KM X 1000 KM.25
- FIGURA 10:** BOXPLOT DO ALBEDO PARA AS ÁREAS DE ESTUDO DE A1 A A13.27
- FIGURA 11:** GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS MENSAIS DO ALBEDO PARA O PERÍODO DE MARÇO DE 2000 À DEZEMBRO DE 2011 DAS ÁREAS DE ESTUDO A5 EM (A) E A10 EM (B). FONTE: AUTOR, 2014.28

FIGURA 12: VALORES DOS ALBEDOS MÍNIMOS, MÉDIOS E MÁXIMOS PARA AS 13 REGIÕES DE ESTUDO. ACIMA DO GRÁFICO, ESTÃO O MÊS/ANO EM QUE OCORRERAM OS ALBEDOS MÍNIMOS E MÁXIMOS PARA CADA REGIÃO, RESPECTIVAMENTE.	30
FIGURA 13: MAPAS MÉDIOS MENSIS DO VALOR DO ALBEDO PARA O PERÍODO DE ESTUDO DE MARÇO DE 2000 A DEZEMBRO DE 2011. EM (A) JANEIRO, EM (B) FEVEREIRO, EM (C) MARÇO, EM (D) ABRIL, EM (E) MAIO, EM (F) JUNHO, EM (G) JULHO, EM (H) AGOSTO, EM (I) SETEMBRO, EM (J) OUTUBRO, EM (K) NOVEMBRO E EM (L) DEZEMBRO.	31
FIGURA 14: VALORES DAS CORRELAÇÕES ENTRE O ALBEDO E OS ÍNDICES IOS E IME EM (A) SIMULTÂNEAS, EM (B) ÍNDICES ADIANTADOS UM MÊS, EM (C) ÍNDICES ADIANTADOS DOIS MESES E EM (D) ÍNDICES ADIANTADOS TRÊS MESES.	35
FIGURA 15: ANÁLISE DAS ONDELETAS PARA OS VALORES MÉDIOS DAS ÁREAS DE ESTUDO A5, A10 E A12, RESPECTIVAMENTE A, B E C.	37
FIGURA 16: ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DO ALBEDO PARA O PERÍODO DE MARÇO DE 2000 A DEZEMBRO DE 2011. EM (A) PRIMEIRA COMPONENTE E EM (B) SEGUNDA COMPONENTE.	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VALORES DO ALBEDO PARA DETERMINADAS SUPERFÍCIES.....	5
TABELA 2: VALORES E INTERPRETAÇÃO DA CORRELAÇÃO.....	20
TABELA 3: PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA PARA AS DUAS PRIMEIRAS COMPONENTES DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DOS DADOS DO ALBEDO.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

AO	Análise de Ondeletras
AR4	Fourth Assessment Report
AS	América do Sul
CERES	Clouds and The Earth's Radiant Energy System
CGA	Circulação Geral da Atmosfera
EAD	Análise Exploratória de Dados
ENOS	El Niño – Oscilação Sul
ENSO	El Niño – Southern Oscillation
EOS	Earth Observing System
ERBE	Earth Radiation Budget Experiment
ERBS	Radiation Budget Satellite Earth
ESRL	Earth System Research Laboratory
FOE	Funções Ortogonais Empíricas
GSFC	Goddard Space Flight Center
IME	Índice Multivariado de ENOS
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LARC	Langley Research Center
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
OS	Oscilação Sul
PCP	Primeira Componente Principal
PNM	Pressão ao Nível do Mar
ROC	Radiação de Onda Curta
ROL	Radiação de Onda Longa
TF	Transformada de Fourier
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência da América do Sul
ZCIA	Zona de Convergência Intertropical do Atlântico
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de convergência de Umidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. FORÇANTES CLIMÁTICAS	3
2.2. ALBEDO PLANETÁRIO	4
2.3. NUVENS	7
2.4. PROJETO CERES	9
2.5. FENÔMENO EL NIÑO – OSCILAÇÃO SUL	11
2.5.1. Índice de Oscilação Sul	14
2.5.2. Índice Multivariado do ENOS	15
2.6. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	17
2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
2.6.1. Análise Exploratória de Dados	18
2.6.2. Análise das Ondeletas.....	21
2.6.3. Análise das Componentes Principais	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. DADOS UTILIZADOS	25
3.2. MÉTODOS	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DO ALBEDO EM TODO O PERÍODO DE ESTUDO. ..	27
4.2. ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES ENTRE ALBEDO COM O IOS E IME	34
4.3. ANÁLISE DAS ONDELETAS PARA AS REGIÕES A5, A10 E A12	37
4.4. ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DO ALBEDO	38
5. CONCLUSÕES	41
6. REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

A grande necessidade do homem em procurar entender todos os processos físicos que resultam nas interações oceano-terra-atmosfera e seus respectivos resultados para a climatologia regional e planetária têm proporcionado grandes descobertas ao longo dos anos e, por consequência, uma previsão do tempo mais confiável. Porém, a fim de melhor entender como funciona cada sistema, cada condição climática, não é tão simples, muito menos de fácil acessibilidade em curto prazo.

Isso se deve primeiramente devido as peculiaridades de cada região do Planeta Terra, uma vez que o mesmo é composto quase que em sua totalidade por água líquida e do restante, seus continentes, por possuir floresta de tamanho continental (e.g. Floresta Amazônica – América do Sul), estar localizado entre os dois maiores oceanos do planeta (e.g. Continente Americano - Ocidente), possuir a maior extensão de terra desértica do planeta (e.g. Saara – África), ou mesmo uma região aonde impera o frio extremo (e.g. Continente Antártico – Polo Sul). Enfim, cada lugar com uma situação climatológica específica e por consequência, condições meteorológicas distintas.

Outro fator que limita a ampliação do conhecimento nessa linha de estudo pode-se dizer assim, é a própria disponibilidade de dados. Apesar de termos conhecimento e tecnologia superiores em relação ao que possuíamos no século anterior, uma imensa fração do planeta ainda não é monitorada in-loco, ou ao menos, monitorada com o uso de instrumentação adequada o que provoca uma avalanche de erros para efeito de estudos e previsões. Arelado a esse fator, implantar uma malha de monitoramento adequada com proporção planetária é praticamente impossível atualmente devido ao custo unitário de cada equipamento. Por esses motivos, o uso de satélites de monitoramento tornou-se essencial.

Com o início da corrida espacial e o advento dos satélites de monitoramento de tempo e clima, a Ciência passou a ter importantes aliados na tentativa de decifrar questões relativas à dinâmica do clima, desde a sua origem, área de incidência bem como suas consequências especialmente para os seres humanos.

A dinâmica climática tem sua origem devido a energia radiante proveniente do Sol. Parte dessa energia interage diretamente com a atmosfera terrestre e o

restante que a atravessa acaba interagindo com as superfícies em condições distintas por todo o planeta resultando nas interações Terra-oceano-atmosfera. Essas interações estão intrinsicamente ligadas a quantidade de radiação que é absorvida e reenviada novamente para o espaço. Qualquer alteração nesse balanço resulta em um aquecimento ou resfriamento global.

Em geral, alterações no clima do planeta são atribuídas as forçantes climáticas, pois aceleram ou retardam a resposta do sistema. As forçantes por sua vez, em especial as nuvens, são responsáveis pela maioria das incertezas, já que são frutos das interações entre oceanos e atmosfera.

O fenômeno ENOS (El Niño – Oscilação Sul) é um exemplo de interação oceano-atmosfera, o mesmo é responsável pelas oscilações na temperatura planetária interanual e a nebulosidade pode ter um papel importante nesse evento podendo ser traduzida através do albedo planetário.

O objetivo deste trabalho é avaliar alterações no campo climatológico para a América do Sul, com foco na variabilidade do albedo planetário para essa região em períodos de El Niño e La Niña.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Forçantes climáticas

Nas diversas escalas de tempo, qualquer fenômeno que interaja com o fluxo de radiação de ondas curtas (ROC), seja incidente ou refletida, altera a dinâmica do clima no planeta (MOLION, 2010).

O clima é comedido por um aglomerado de interações de profunda complexidade entre a superfície terrestre (continentes e oceanos) e a atmosfera. Mesmo com as tecnologias mais atuais, determinar essas interações, sua gênese, sua atuação e principalmente suas consequências, é uma tarefa complicada e de médio a longo prazo.

Das interações já identificadas, pouco se sabe e seu conhecimento é resumido, porém, é sabido que a estabilidade do clima global possui conexão direta com o equilíbrio radiativo do planeta, ou seja, o fluxo de radiação de ondas curtas (ROC), absorvido pelo planeta, deve ser igual ao fluxo de radiação de ondas longas (ROL) emitido para o espaço.

$$\text{ROC} = \text{ROL} \text{ (W.m}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

Na prática, esse balanço não fica precisamente equipendente devido as forçantes climáticas, que são assim denominadas por atenuar ou amplificar respostas do clima (feedbacks). As mesmas são classificadas em internas e externas.

Como a classificação propõe, forçantes externas são processos físico-químico que se manifestam paralelamente as variações climáticas. Pode-se citar, por exemplo, a quantidade de radiação solar incidente no planeta, já que, qualquer evento que interfira no fluxo de ROC, seja incidente ou refletido, certamente influenciará na condição do clima. De forma secundária, os aerossóis vulcânicos também podem ser classificados nessa categoria.

Segundo Molion (2010), outro evento que também se enquadra nessa categorização são as forças gravitacionais, uma vez que, a Lua atua diretamente nos níveis das mares. Em sua pesquisa, Siqueira (2012), concluiu que a órbita lunar afetou o nível do Oceano Pacífico e que, por conseguinte, a temperatura da superfície do mar (TSM), gerando um efeito dominó para outros fenômenos de importância climática tais como: Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).

Por sua vez, as forçantes internas estão atribuídas as interações terra-atmosfera-oceano, são elas: Circulação Geral da Atmosfera, Circulações Oceânicas, Efeito Estufa, Albedo Planetário e ciclo hidrológico, em especial, nuvens.

2.2. Albedo planetário

O clima de uma região é determinado por fatores denominados controles climáticos, os mesmos têm sua atuação em escala global e regional. Dentre eles, pode-se destacar a circulação geral da atmosfera (CGA), que é o resultado direto da distribuição latitudinal da energia solar e proporções dissonantes entre continentes e oceanos (MOLION, 1987).

A circulação atmosférica que é responsável pelas condições meteorológicas num certo instante, são reflexos da energia disponível em um determinado local que, por conseguinte é fruto de uma combinação de fatores dos quais o albedo é um dos principais (QUERINO *et al*, 2006). O albedo (α) da superfície, ou poder refletor da superfície, é a fração da radiação incidente que é devolvida à atmosfera. O albedo é um parâmetro muito importante no balanço de radiação e de energia de uma superfície (LEIVAS *et al*, 2007). O termo tem origem da palavra latina *albus*, que significa "branco" (BUDIKOVA, 2013).

Na Tabela 1, se pode observar os valores do albedo relacionados ao tipo de superfície. Objetos com tonalidade mais negra tem um albedo menor do que objetos de tons mais claros. A razão pode ser explicada devido a natureza de cada substância (isto é, estrutura da partícula, tamanho, composição molecular, etc.) que resulta em diferentes valores de refletividade, absorvância e emissividade.

Tabela 1: Valores do albedo para determinadas superfícies.

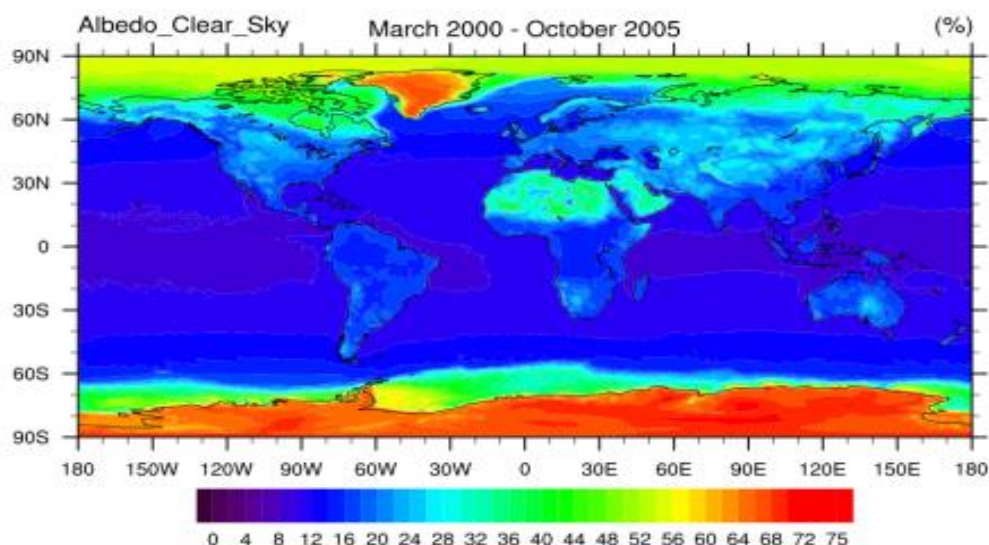
Tipo de superfície	Albedo (%)	Tipo de superfície	Albedo (%)
Solos	0.05 - 0.40	Água (ângulo zenital > 40°)	0.10 - 1.00
Deserto	0.20 - 0.45	Vidro	0.08 - 0.52
Gramma	0.16 - 0.26	Tinta branca	0.50 - 0.90
Floresta	0.05 - 0.20	Tijolo	0.20 - 0.40
Culturas agrícolas e Tundra	0.18 - 0.25	Telha	0.10 - 0.35
Neve seca	0.75 - 0.95	Cascalho	0.08 - 0.18
Neve molhada	0.25 - 0.75		
Água (ângulo zenital < 40°)	0.03 - 0.10	Concreto	0.10 - 0.35

Fonte: AYODE, 1996.

Na água, por exemplo, durante o dia, o albedo varia de acordo com o ângulo do Sol. Quando o ângulo é alto, a água tende a absorver mais do que 95% da insolação que a incide. Em ângulos mais baixos, a superfície da água torna-se muito mais reflexiva (Chapin *et al*, 2002; Ahrens, 2006; Leivas *et al*, 2007). Kukla & Robinson (1980), por exemplo, demonstra a oscilação do albedo latitudinalmente durante os meses do ano e observaram que em altas latitudes, a neve e o gelo, comuns nessas regiões, variam seu albedo de acordo com a sazonalidade, podendo aumentá-lo em mais de 40% durante o inverno em relação ao período de verão.

Na Figura 1, a variação latitudinal é fator determinante no valor percentual do albedo devido ao ângulo solar. Regiões de características tropicais, bem como os oceanos impõe valores baixos de albedo, ao passo que nas regiões desérticas como o Saara por exemplo ou em regiões polares devido a predominância de gelo e neve, elementos com alto poder de refletividade, os valores do albedo são extremamente elevados.

Figura 1: Média do Albedo planetário em condições de céu claro entre março de 2000 e outubro de 2005 utilizando dados do CERES.



Fonte: adaptado de Lubis, 2012.

A atmosfera também desenvolve papel fundamental para o clima considerando seu albedo. A mesma atua como restrigente controlando a quantidade de ROC que entra e sai do planeta. Uma fração do fluxo de ROC incidente no planeta é devolvido para o espaço exterior e não interage com os processos internos ao ciclo terra-oceano-atmosfera. A razão da ROC refletida pela ROC incidente é chamado albedo planetário (MOLION, 2010).

Segundo Wielicki *et al.* (1995), o albedo planetário (α_p) é uma propriedade de objetos dentro do ambiente, seja na atmosfera (e.g. por nuvens, vapor d'água e aerossóis) e objetos que constituem a superfície do planeta (e.g. oceanos, neve e desertos). Em média, o albedo do Sistema Terra-atmosfera-oceano tem valor aproximado de 30%, ou seja, 30% da radiação total incidente é devolvida para o espaço. A variação do albedo planetário oscila tanto em escala espacial como também temporal e ambas estão relacionadas às forçantes climáticas.

Aparentemente, a estabilidade do clima do planeta é muito sensível à variação do albedo, segundo o modelo de sensibilidade climática do IPCC AR4 (2007), uma redução de 1% no albedo planetário é suficiente para desequilibrar a temperatura do planeta em cerca de 1°C.

2.3. Nuvens

Considerada quase que por unanimidade por pesquisadores como a componente climática mais enigmática e mais instável no planeta, as nuvens estão praticamente presente em todas as interações atmosféricas, seja de forma direta ou indireta. As nuvens desempenham um papel importante para o balanço energético, pois regulam a energia que entra e que sai do sistema, resfriando o planeta quando refletem a luz solar de volta para o espaço ou aquecendo-o por absorção da radiação de onda longa radiada pela superfície (Managó & Domiciano, 2009).

As nuvens fazem parte dos efeitos feedbacks, atuando como elo de ligação em resposta a quantidade de radiação disponível, convecção e albedo planetário (Wielicki *et al*, 1995). Essa resposta fica condicionada às características físicas tais como altura e profundidade optica, já que nuvens baixas reduzem o saldo de radiação, atenuando a resposta do sistema (feedback negativo), ao mesmo tempo que nuvens altas reduzem a emissão de ROL para o espaço amplificando a resposta do sistema (feedback positivo). Essa condição é matematicamente explicável por meio da Lei de Stefan-Boltzman:

$$E = \sigma T^4 \quad (2) \quad \text{ou} \quad ROL = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

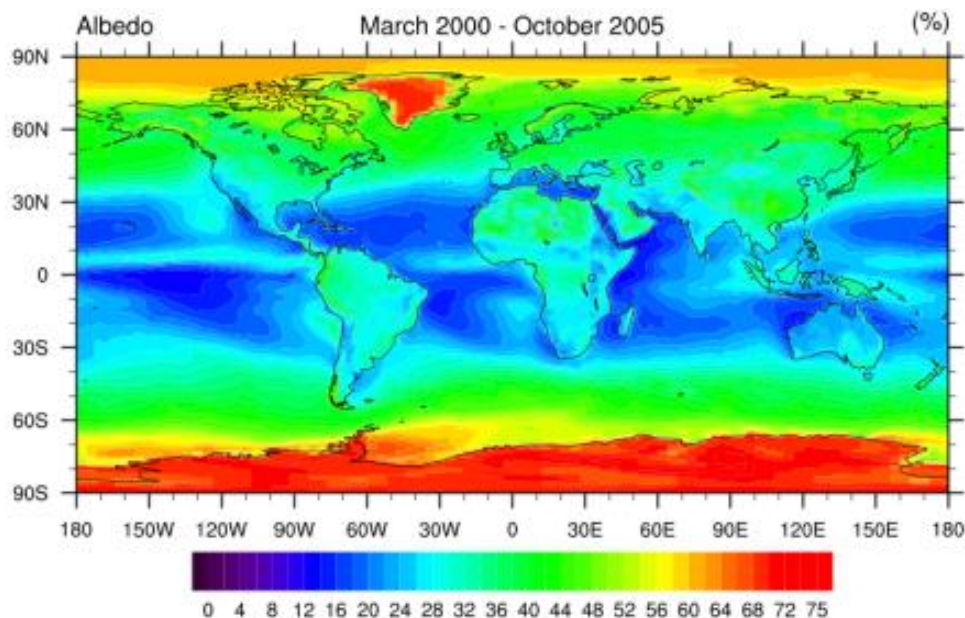
$E = ROL =$ fluxo de radiação de onda longa emitida, $\varepsilon =$ emissividade do corpo, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ (constante de Boltzman) e $T =$ temperatura efetiva. Desse modo, se pode observar que nuvens altas tem topo frio onde T é baixa e, por isso, irradiam menos. Já, nuvens baixas tem topo quente, onde T é alta e, portanto, irradiam mais, ambas influenciando diretamente no albedo planetário.

Cobrindo cerca de 65% da superfície terrestre, resultando em cerca de dois terços do albedo planetário, a presença de nuvens eleva o albedo planetário de 15% para aproximadamente 30%, sendo comprovado, por exemplo, por meio de imagem de satélite (Figura 2).

Comparando a Figura 2 com a Figura 1 se pode observar a atuação da nebulosidade para o balanço de energia no planeta, uma vez que as nuvens são

resultado direto das circulações atmosféricas interagindo com as oceânicas, sendo possível observar o aumento do albedo devido à presença de nebulosidade.

Figura 2: Média do Albedo planetário em condições de céu com presença de nuvens entre março de 2000 e outubro de 2005 utilizando dados do CERES.



Fonte: adaptado de LUBIS, 2012.

A relação entre o tipo predominante de nuvem e seu percentual de cobertura, além de duplicarem o percentual do albedo planetário (resfriando o sistema), também são extremamente expressivas para manter a temperatura do planeta, pois as nuvens participam ativamente do efeito estufa (aquecendo o sistema). Mesmo com uma tecnologia de ponta, os modelos de clima atuais ainda não são capazes de gerar previsões confiáveis quando o parâmetro principal é a nebulosidade, pois se um modelo, por exemplo, for propenso a produzir nuvens com topo baixo, suas simulações irão sugerir um resfriamento global, ao passo que, modelos com grande tendência a produzir nuvens de topo alto e espessura óptica delgada (tipo cirro) irão sugerir um aquecimento global (MOLION, 2010).

Silva e Frachito (1994), por meio de modelo atmosférico, observaram que, ao alterar os padrões da fração de nebulosidade, se pode verificar ser predominante o efeito do albedo das nuvens nas regiões de baixas latitudes e a predominância do efeito estufa nas regiões de altas latitudes. Quando se aumenta a altura das nuvens, verificou-se um aumento da temperatura de superfície em especial, nas regiões

polares, ocorrendo efeito contrário quando houve uma diminuição na altura da camada de nuvens.

Eschenbach (2015), analisando as condições entre albedo e temperatura, concluiu que nuvens, em especial as localizadas entre os trópicos, são as responsáveis pelo equilíbrio térmico do planeta. O mesmo autor observou uma condição ímpar sobre essa questão já que, com o aumento da temperatura, o albedo dos oceanos intertropical tende a diminuir (correlação negativa). Porém, quando a temperatura de superfície do mar ultrapassa 26°C, esse valor volta a aumentar, sugerindo uma tendência de aumento de nebulosidade de topo alto (cúmulo nimbo) e, conseqüentemente, uma correlação positiva entre albedo e temperatura.

2.4. Projeto CERES

A fim de melhor entender o funcionamento do balanço de radiação e por consequência, aprimorar o conhecimento das interações oceano-terra-atmosfera e seus impactos sobre o clima do planeta, a National Aeronautics and Space Administration - NASA durante o final da década de 1970 deu início a mais uma corrida exploratória planetária. O Langley Research Center (LaRC) ficou encarregado em desenvolver uma instrumentação capaz de mensurar componentes do balanço de radiação em escalas regional e global. Em outubro de 1984, enfim, foi lançado o Radiation Budget Satellite Earth (ERBS), construído pelo Goddard Space Flight Center, que possuía, em seu interior, um conjunto de detectores (scanners) batizados pela sigla ERBE-Earth Radiation Budget Experiment (BARKSTROM *et al*, 1989) capazes de aferir diretamente a energia radiante do Sol.

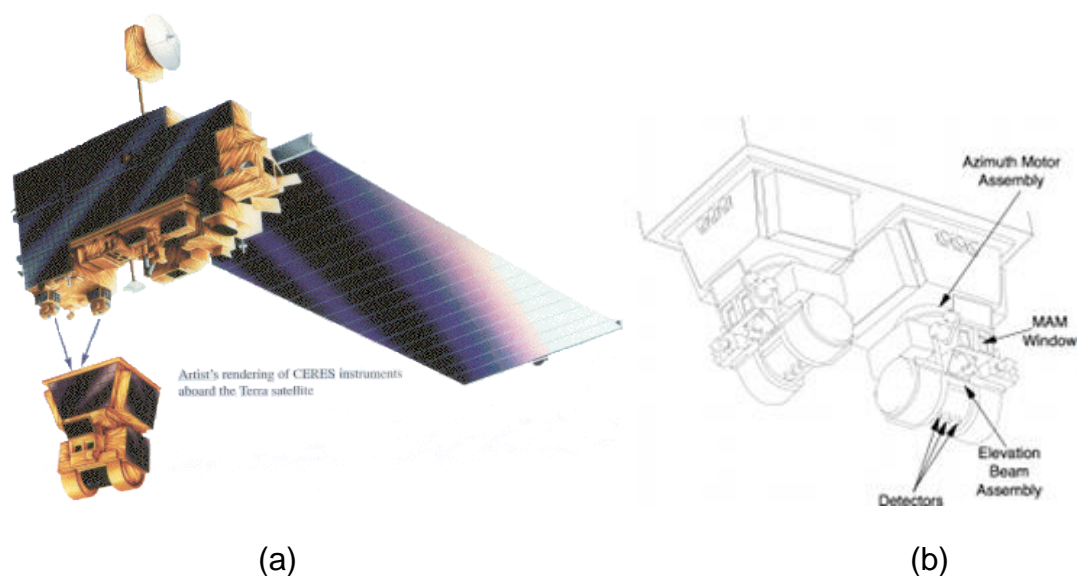
De posse dos resultados, foi possível observar que as nuvens exercem um papel indispensável para o controle climático do planeta (ERBE, 2013), e, por esse motivo, em novembro de 1997, a Earth Observing System - EOS deu início a mais um lançamento, batizado de Tropical Rainfall Measuring Mission –TRMM. O TRMM tinha como objetivo principal de monitorar chuvas de origem tropical (Kummerow *et al*, 1998). Porém, a bordo desse satélite também foram instalados outros instrumentos oriundos de projetos paralelos dando ao satélite atividades secundárias (TRMM, 2013).

Posto em atividade inicialmente junto ao TRMM, os instrumentos CERES - Clouds and the Earth's Radiant Energy System (WIELICKI *et al*, 1996), possuem em sua essência radiômetros digitais de banda larga um operando com escaneamento transversal, dando continuidade as varreduras inicialmente feitas pelo ERBE, e, o segundo com escaneamento biaxial (Figura 3b).

Isso permitiu uma ampliação no campo de varredura polo a polo em resposta ao seu antecessor instalado no TRMM cuja varredura era limitada entre 40°N e 40°S (CERES, 2013). O sensor CERES foi projetado para estimar propriedades das nuvens, visando estimar seu papel nos fluxos radiativos da superfície até o topo da atmosfera. Cada radiômetro possui três canais, um canal de onda curta para medida de luz solar refletida; canal de onda longa para medir radiação térmica emitida pela Terra na região da "janela" atmosférica entre 8 e 12 μm , e canal de banda larga para radiação total.

Os dados do CERES são utilizados para entender o processo de retroalimentação (feedback) e forçantes radiativas devido a nuvens; desenvolver uma base observacional de fluxos radiativos para céu claro; determinar entradas (inputs) radiantes para modelos energéticos oceânicos e atmosféricos; melhorar previsões numéricas de tempo de longo termo (ALVALÁ *et al*, 2006).

Figura 3: Ilustração do satélite TERRA e o scanner CERES (a) e detalhe scanner CERES (b).



Fonte: NASA/TERRA/CERES

Atualmente, encontram-se ativos em mais dois satélites, totalizando, até o momento, cinco instrumentos lançados, com quatro em plena atividade, dois deles acoplados ao satélite TERRA (Figura 3a), cujo lançamento ocorreu em dezembro de 1999, operando a partir de fevereiro de 2000 e a segunda dupla acoplada ao satélite AQUA, lançado em maio de 2002.

2.5. Fenômeno El Niño – Oscilação Sul

O fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS), também designado pela expressão inglesa ENSO (El Niño – Southern Oscillation), constitui um fenômeno formado por duas componentes: uma de natureza oceânica, no caso El Niño ou La Niña, e outra de natureza atmosférica, representado pela Oscilação Sul (Cunha *et al*, 2011). É um evento de interação entre oceano e atmosfera, que traz como resultado uma alteração na dinâmica climática do globo terrestre.

Segundo Wyrski (1975), o ENOS é uma resposta do Oceano Pacífico Equatorial ao forçamento atmosférico pelos Ventos Alísios. O ENOS é um fenômeno atmosférico-oceânico em que o oceano, ao interagir com a atmosfera, altera os campos de pressão atmosférica ao nível do mar (PNM) e de ventos sobre o Pacífico Equatorial, mudando seus padrões nas escalas regional e mundial.

O El Niño, assim batizado por pescadores equatorianos em referência ao Menino Jesus, já que ocorre geralmente no mês de dezembro, é caracterizado pela alteração das TSM na região equatorial do Oceano Pacífico apresentando duas fases distintas, uma denominada de El Niño e a outra de La Niña.

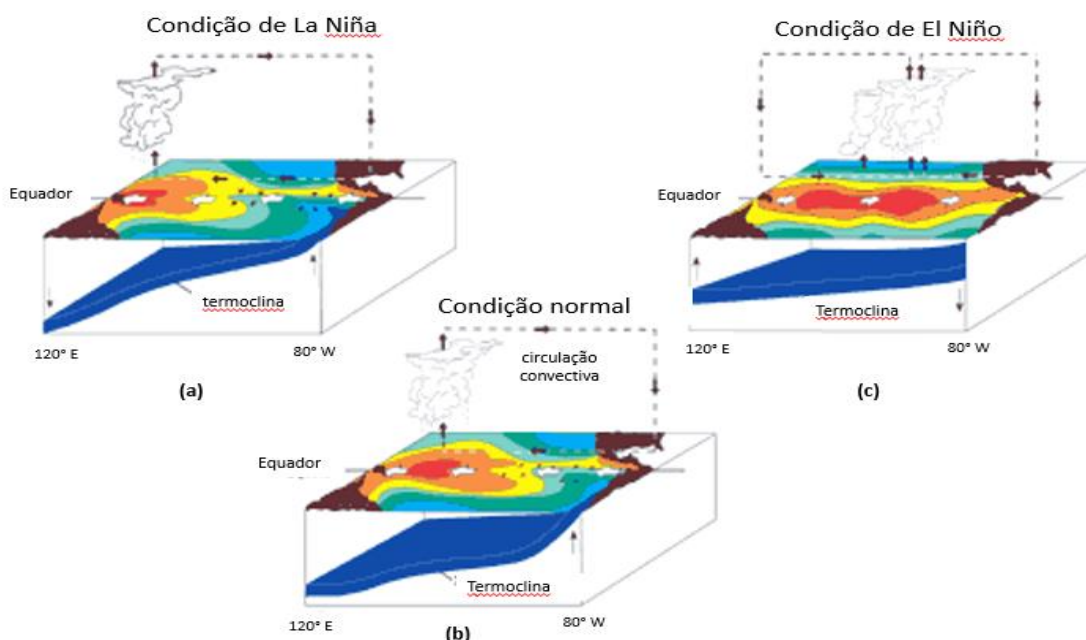
A Oscilação Sul (OS) é uma oscilação alternada da PNM, popularmente chamada de gangorra barométrica, inversamente proporcional a dois centros, um localizado no Pacífico Oeste (Darwin/Austrália) e outro no Pacífico central (Taiti), tal que, quando a PNM aumenta num dos centros, diminui no outro, e vice-versa (RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; TRENBERTH, 1997; SANTOS, 2011; SIQUEIRA, 2012).

Em condições normais, os ventos Alísios sopram em direção à Indonésia. Quando, em algum momento, a velocidade do vento aumenta o atrito com a superfície

da água na costa oeste da América do Sul gera um transporte de água mais aquecida em direção ao interior do Pacífico induzindo o afloramento de águas mais frias (ressurgência) das águas próximo à costa sendo classificado de La Niña (Figura 4a).

Em alguns anos, o vento inexistente ou não tem velocidade considerável, resultando no desaparecimento da ressurgência e um conseqüente aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais, sendo assim, denominado de El Niño (Figura 4c).

Figura 4: Condições sobre o oceano Pacífico dos fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Em (a) condição de La Niña, em (b) condição normal e em (c) condição de El Niño.



Fonte: adaptada de CPTEC/INPE

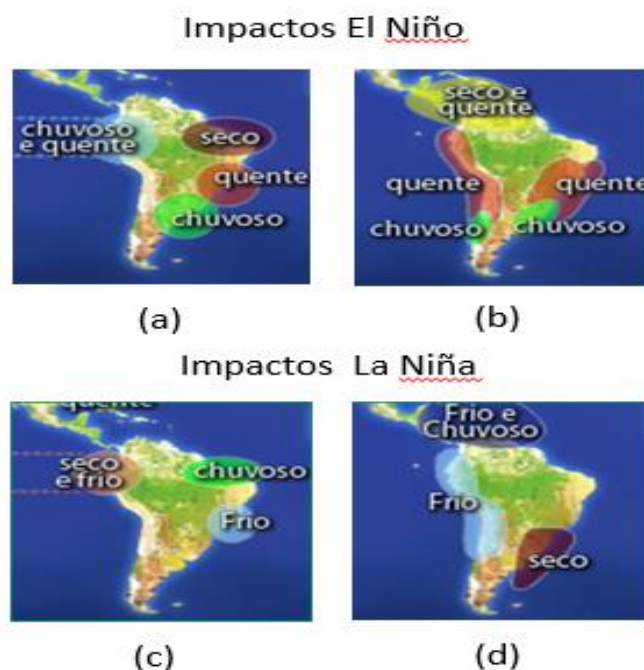
Esse aumento da temperatura muda às características normais da Célula de Walker, fazendo com que seu ramo ascendente se posicione sobre o Pacífico Oriental e costa do Equador, Peru e norte do Chile. Por teleconexões, a mudança da Célula de Walker gera mudanças na circulação global, que afetam os padrões de precipitação em todo o globo (RASMUSSEN E WALLACE, 1983; ROPELEWSKI E HALPERT, 1987; SANTOS, 2011; SIQUEIRA, 2012).

El Niño e La Niña são classificados como fenômenos de alta frequência, apresentando um curto tempo de duração geralmente entre 6 a 18 meses, que

causam alterações significativas e afetam os climas regional e global com grandes impactos negativos nas sociedades.

A Figura 5 esboça as regiões da América do Sul que sofrem os efeitos desses eventos, seus impactos no clima regional causados durante as fases de El Niño/La Niña. As Figuras 5a e 5c evidenciam as condições climáticas para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em (a) para período de El Niño e em (c) para período de La Niña. Nas Figuras 5b e 5d, se evidenciam as condições climáticas para os meses de junho, julho e agosto, em (b) para El Niño e (d) para La Niña.

Figura 5: Climatologia dos fenômenos El Niño/La Niña na América do Sul. Em (a) impactos do El Niño para os meses de dez/jan/fev, (b) jun/jul/ago. Em (c) impactos do La Niña nos meses de dez/jan/fev e (d) jun/jul/ago.



Fonte: adaptado de CPTEC/INPE.

Durante os eventos El Niño, as totais pluviométricas sobre as regiões Norte e Nordeste do Brasil apresentam-se abaixo da média climatológica. Já, durante eventos La Niña, ocorre o contrário, há um acréscimo dos totais pluviométricos. As regiões Sul e Sudeste, apresentaram o oposto do que ocorre no Norte e Nordeste. Durante El Niños (La Niñas), a precipitação aumenta (diminui) nessas regiões.

Outro aspecto notável é que, durante os eventos La Niña, a temperatura do ar média global tende a permanecer abaixo do normal climatológica. Já, durante

eventos de El Niño, tende a ser acima da média. Isso demonstra que a interação entre os oceanos e a atmosfera é um dos fatores importantes para a manutenção e dinâmica do clima.

Fedorova e Carvalho (2006), em uma análise mais ampla, avaliaram eventos sinóticos para a América do Sul em especial para a nebulosidade durante o período de El Niño (1997-1998), La Niña (1998-1999) e em período neutro. Chegaram à conclusão que a nebulosidade convectiva predominou na região do equador e foi menor nas latitudes de 10 e 20° S em todos os anos analisados.

Nos anos de El Niño e de La Niña, a frequência da nebulosidade diminuiu da região oeste do continente para a região leste, ao longo do equador. Nos anos de La Niña e de El Niño a frequência da nebulosidade diminuiu mais rápido do equador para a latitude de 20° S no oeste do continente do que nas outras regiões. Esta diminuição foi maior no ano de El Niño do que no ano de La Niña. Nos anos de La Niña e de El Niño, a quantidade de dias sem nebulosidade ou com poucas nuvens na latitude de 20° S foi quase igual.

Na literatura sobre ENOS, vários índices foram criados para estabelecer a condição do fenômeno bem como sua intensidade. Dentre esses, os mais aceitos atualmente são: Índice de Oscilação Sul e o Índice Multivariados de ENOS.

2.5.1. Índice de Oscilação Sul

Segundo Santos *et al* (2010), o Índice da Oscilação Sul (IOS) é definido como a diferença entre os desvios, em relação à média, das pressões registradas ao nível médio do mar (PNM) em Tahiti (17°S, 150°W) e Darwin (12°S, 130°E), caracterizando, assim, uma espécie de “gangorra barométrica” entre a região do Pacífico Oeste (Darwin, Austrália) e o Pacífico Leste (Ilhas Tahiti).

O Índice de Oscilação Sul (IOS) é uma medida das flutuações de grande escala na pressão do ar que ocorrem entre o ocidental e oriental do Pacífico tropical (ou seja, o estado da Oscilação do Sul), durante episódios de El Niño e La Niña. Tradicionalmente, esse índice foi calculado com base nas diferenças de anomalia de pressão de ar entre Tahiti e Darwin, na Austrália. Em geral, analisando a série histórica

do IOS observa-se uma correspondência direta com as mudanças na temperatura dos oceanos em todo o Pacífico tropical oriental (SIQUEIRA e MOLION, 2008). A fase negativa do IOS representa a pressão do ar inferior à normal ao Tahiti e pressão de ar acima do normal no Darwin. Períodos prolongados de valores negativos IOS coincidem com águas anormalmente quentes do oceano em todo o Pacífico Tropical Leste, típicos de episódios El Niño. Períodos prolongados de valores positivos IOS coincidem com águas anormalmente frias do oceano em todo o leste do Pacífico tropical, típico de episódios de La Niña.

As séries temporais do IOS e as temperaturas da superfície do mar no Pacífico equatorial leste indica que o ciclo ENSO tem um período médio de cerca de quatro anos, embora no registro histórico do período variou entre dois e sete anos. A década de 1980 e 1990 apresentou um ciclo ENSO muito ativo, com cinco episódios El Niño (1982-1983, 1986-1987, 1991-1993, 1994/95 e 1997/98) e 3 episódios de La Niña (1984/85, 1988 / 89, 1995/96) que ocorrem durante o período (SIQUEIRA, 2012).

Esse período contou com dois dos mais fortes El Niño episódios do século (1982/83 e 1997/98), bem como dois períodos consecutivos de condições do El Niño durante 1991-1995, sem episódio frio entre eles. Historicamente, existe uma variabilidade considerável no ciclo de ENOS de uma década para a próxima. Por exemplo, há décadas em que o ciclo foi relativamente inativo, e décadas em que foi bastante pronunciado.

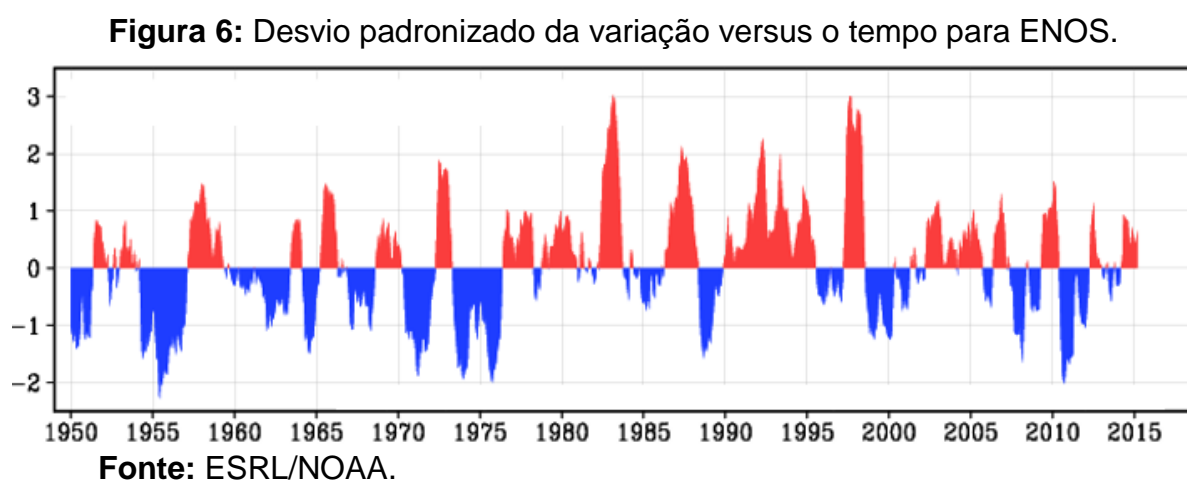
Galvani *et al* (1998), utilizando dados e IOS, os correlacionou com índices pluviométricos na Região Sudeste do Brasil encontrando significativa correspondências entre eles obtendo uma margem de cerca de 50% de acerto com até 4 meses de antecedência. Santos *et al* (2010), utilizando dados de TSM, correlacionou o IOS com os setores do El Niño, observado seus reflexos sobre as chuvas na Região do Nordeste Brasileiro, concluindo que existe uma forte interação entre elas.

2.5.2. Índice Multivariado do ENOS

Outro índice bastante aceito pela comunidade científica é chamado de Índice Multivariado de ENOS (IME). O IME, idealizado por Wolter e Timlin (1998), tem

como objetivo avaliar o tipo e a intensidade do ENOS. É formulado com base nos dados aferidos no Pacífico tropical de: pressão ao nível do mar, temperatura do ar a superfície, componente zonal e meridional do vento em superfície, TSM e fração de nebulosidade.

Segundo Lopes (2006), reiterado por Santos (2011), o IME é calculado por meio da Primeira Componente Principal (PCP) não rotacionada de todos as seis variáveis analisadas e combinadas. Em um segundo passo, é feita uma normalização da variação total para cada campo e, em seguida, é feita a extração da PCP na matriz de covariância dos campos combinados. A Figura 6 descreve graficamente a série temporal do Índice Multivariado de ENOS. Valores positivos caracterizam duração e situação de eventos El Niño, ao passo que valores negativos correspondem a La Niñas. A altura dos picos sugerem a intensidade de cada evento.



2.6. Caracterização da área estudada

A América do Sul (AS) é um subcontinente que compreende a porção meridional da América (Figura 7). A sua extensão é de 17 819 100 km², abrangendo 12% da superfície terrestre e 6% da população mundial. Une-se à América Central a norte pelo istmo do Panamá e separa-se da Antártida a sul pelo estreito de Drake. Tem uma extensão de 7 500 km desde o mar do Caribe até ao cabo Horn, ponto extremo sul do continente (WIKIPEDIA, 2013).

Figura 7: Localização do continente Sul Americano no globo.



Fonte: Autor 2015.

A AS está posicionada entre os dois maiores oceanos do planeta, sendo banhada a leste pelo Oceano Atlântico e a oeste pelo Oceano Pacífico. Com relação a sua topografia, a AS é composta de planaltos relativamente altos em sua composição leste e planaltos pouco elevados e planícies em sua parte central. A oeste, ou extremo ocidente, está localizada os Andes, região aonde se encontra as maiores altitudes do continente (montanhas) e área de fenômenos cataclísmicos (FREITAS, 2013).

O continente sul-americano se estende por aproximadamente de 10°N até 55°S, apresentando, assim, uma variação climática considerável. Porém, a maior área encontra-se na zona tropical em que, a 5°S, a extensão de terra chega 4800 km de comprimento e, por isso, há um predomínio absoluto de climas quentes, entrecortados de outros temperados e até polares (SERRA, 1963).

A AS está submetida à atuação de duas zonas climáticas, uma de origem dinâmica (ou subtropical), onde as condições do clima são oriundas das incursões de frentes frias de origem ártica e outra de origem termodinâmica (ou intertropical) provenientes das altas temperaturas e umidade.

Deste modo, a AS possui regiões com características climáticas peculiares, que vão desde clima frio de montanha (Andes), passando pelo clima

semiárido (Parte central dos Andes e região nordeste do Brasil, até chegar ao clima árido ou de deserto (região ocidental da Argentina e Atacama no Chile respectivamente).

Na região mais ao norte e noroeste o clima é equatorial. A Floresta Amazônica exerce importante papel para o clima local e do continente, pois permite o movimento das massas de ar originado um “corredor de umidade entre o noroeste e o sudeste do Brasil caracterizada como Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS)”.

Além disso, outro fator essencial no clima da AS são decorrentes das circulações oceânicas, já que, no lado ocidental, as águas do Pacífico são mais frias, dificultando a formação de nuvens, ao passo que, do lado oriental, as águas do Atlântico são mais quentes e, conseqüentemente, proporcionam maiores condições para instabilidades atmosféricas.

2.6. Análise Estatística

2.6.1. Análise Exploratória de Dados

Nas ciências associadas ao clima e ao tempo, geralmente, o volume de informações das variáveis que se tem disponível não é confiável para uma análise direta. A análise exploratória de dados (EAD) é uma metodologia que objetiva examinar o comportamento dos dados utilizando diagramas (TURKEY, 1977).

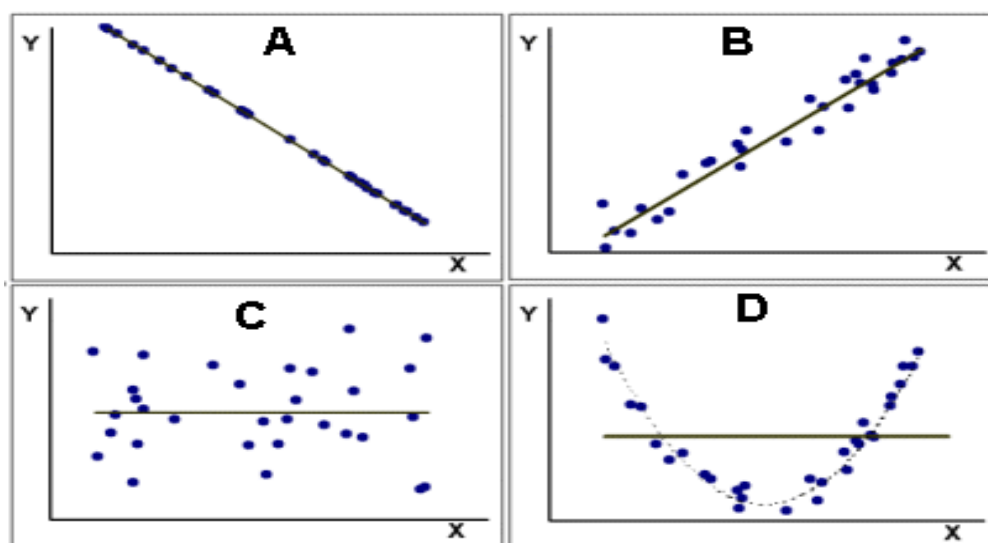
Essa metodologia simplifica à percepção humana ao interpretar uma série de dados quando a quantidade é muito grande. Atualmente, com o auxílio da tecnologia, existem uma praticidade em utilizar essa técnica, pois, mesmo que a série de dados seja extensa, é possível se obter resultados geralmente confiáveis e em poucos minutos. Fato esse que fez com que essa técnica seja utilizada praticamente em todas as áreas da ciência, especialmente as Exatas e da Terra.

Outra técnica amplamente adotada para descrever uma relação entre variáveis é a Correlação de Pearson que estima, de forma simples e prática, o grau de relação entre variáveis quaisquer. Uma correlação pode ser descrita na forma de

diagrama onde dadas duas variáveis a dispersão determinará a posição das mesmas em coordenadas cartesianas.

Se os pontos desse diagrama aparecem próximos de uma reta, como mostrado na Figura 8 (a e b), essa correlação é chamada de linear. Se não há uma relação indicada entre as variáveis, como mostrado na Figura 8c, admite-se que não existe correlação entre elas. Por exemplo, se x apresentar uma relação direta com y, o gráfico do diagrama de dispersão será igual ao da Figura 8a. Se a relação for inversa, será igual ao da Figura 8b e, se não houver correlação entre as variáveis, será igual ao da Figura 8c. Na Figura 8d não existe uma boa relação entre as variáveis sugerindo uma relação quadrática.

Figura 8: Gráfico da dispersão em coordenadas cartesianas, em (a) correlação linear positiva, em (b) correlação linear negativa e em (c) correlação nula. F, (d) correlação não linear ou quadrática.



Fonte: Autor, 2015.

Desse modo, é observado apenas, como a razão da covariância das amostras de duas variáveis pelo o produto dos dois desvios padrões. A covariância é usada para aferir a relação entre duas variáveis diferentes e o desvio padrão das variáveis é utilizado para padronizar essa expressão e, assim, mostrar se existe um grau de relação, fraco ou forte, entre as variáveis. Estatisticamente, o coeficiente de correlação não depende da escala das variáveis. Os valores da correlação estão

limitados entre -1 e 1. Após algumas alterações, chegou-se à forma final da fórmula do coeficiente de correlação de Pearson:

$$r = \frac{\sum_i^n (x \cdot y)}{\sqrt{\sum_i^n (x)^2 \cdot \sum_i^n (y)^2}} \quad (4)$$

onde, “i” é o dado inicial, “n” o dado final, “x” é a anomalia do índice e “y” é a anomalia das grandezas meteorológicas.

Quando o valor da correlação é positivo, indica que, se a variável independente cresce, o valor da dependente também cresce e, ao maior grau de associação, é atribuído o valor 1. Se o coeficiente for negativo, ocorre o contrário, ou seja, se o valor da variável independente cresce, o valor da dependente decresce e, ao maior grau de associação contrária (dito como anticorrelação), é atribuído o valor -1. Para melhor interpretação, foi um esquema (Tabela 1), onde são expostas as diferentes classes com os valores de associação entre as variáveis e suas respectivas interpretações.

Tabela 2: Valores e interpretação da correlação.

Valores da Correlação (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Muito Fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,59	Moderada
0,60 a 0,89	Forte
0,90 a 1,00	Muito Forte

Fonte: adaptado de Siqueira (2012).

2.6.2. Análise das Ondeletas

Essa metodologia tem sua origem fundada nas transformadas de Fourier (TF). Gabor (1946) ajustou a TF para o estudo do sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência. Essa alteração ficou conhecida como TF com janela móvel. Porém, ao adaptar essa técnica, surgiu um entrave relacionado ao comprimento fixo que tais janelas móveis tinham que ter.

Para se ter uma noção, quando se analisa um caso de cunho Meteorológico, os fenômenos se alteram e apresentando divergências em escalas de tempo e frequência e, em geral, com ordens de grandezas distintas para caracterizar um sinal meteorológico. A análise de Ondeletas (AO) foi adaptada ao trabalho de Gabor por Morlet *et al* (1982) e aprimorada em seguida por Grossman e Morlet.

A AO satisfaz o Princípio de Incerteza de Heisenberg, inserindo janelas que se ajustam conforme a frequência que ocorrem dos fenômenos, ou seja, essas janelas adaptam-se em relação a fenômenos de baixa ou alta frequência. A AO é uma série de funções em pequenas ondas.

Com origem proveniente de alargamento e translações de uma função simples de variável qualquer (WENG E LAU, 1994). Essa função pode ser descrita matematicamente tomando-se uma escala e uma posição, onde o valor da escala tem que assumir valores maiores que zero. A equação, a seguir, mostra função da transformada de ondeletas (TO) em uma série continua:

$$(W_{\psi} f)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5)$$

onde $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada, $\frac{1}{\sqrt{a}}$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta; “a” é a escala, “b” é a posição e “t” é a variável real.

Atualmente, existem inúmeras funções utilizadas na geração das ondeletas, cada uma possuindo peculiaridades. Segundo Weng e Lau (1994), a função descrita por Morlet é uma função cuja características melhor se assemelham

as dos sinais meteorológicos, tais como se existe ou não simetria ou oscilações temporal leve ou abrupto. A função de Morlet é dada pela seguinte equação:

$$\Psi(t) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{4} e^{iw_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (6)$$

onde “w0” é a frequência adimensional de Morlet e “t” é o parâmetro adimensional temporal.

A sistemática da TO tem como base desagregar um sinal em diferentes partes, explorando-os em seus níveis de resolução. Essa técnica é conhecida no meio científico como multi-resolução e que resulta em gerar figuras simplificadas contendo informações que o sinal possui. Os diversos níveis de resoluções expõem vários detalhes de um sinal que, ao articular essa resolução, se pode ressaltar detalhes mais grosseiros ou mais suavizados presentes nas séries temporais. Esses detalhes são expostos na forma da intensidade de energia que se representa em função da frequência (período) e da escala temporal da série (SIQUEIRA, 2012).

3.2.3. Análise das Componentes Principais

A análise das componentes principais (ACP), também conhecidas como funções ortogonais empíricas (FOE), vêm sendo utilizadas com muita frequência nas Ciências Atmosféricas, especialmente em Climatologia. Essa técnica estatística visa dois objetivos principais, quando aplica nas ciências atmosféricas.

O primeiro deles é reduzir um conjunto de dados contendo um grande número de variáveis para um conjunto contendo um número bem menor de novas variáveis. O segundo, é observar as relações existentes entre as variáveis no tempo e/ou, no caso de uma análise espacial, a relação entre os pontos próximos em uma dada região. Com isso, observam-se padrões existentes nos conjuntos de dados.

A FOE foi introduzida como ferramenta de análise das séries temporais de dados meteorológicos e teve como percussor Lorenz (1956).

Para Wilks (2006), a FOE tem a finalidade de minimizar um aglomerado de dados que contenha imenso número de variáveis a um conjunto de dados em um aglomerado menor. Como essa redução é formada uma nova série das variáveis.

Essas novas variáveis são meramente combinações lineares dos conjuntos originais, representando a máxima fração existente que estava inserida nos aglomerados de dados originais.

Na maioria das vezes, os dados utilizados em análises meteorológicas ou climatológicas demonstram correlações bem significantes, por exemplo, nebulosidade, albedo e radiação de onda longa. Mas, esses conjuntos de dados podem ser imensos, pois, para cada variável, se terão observações nas 4 dimensões: latitude, longitude, altura e tempo.

Além disso, a altura, por sua vez, pode ser dívida em níveis de pressão contendo informações dos níveis baixos, médio e alto. Por esse motivo, a FOE é utilizada para compactar esses conjuntos de dados, escrevendo-os como combinações lineares. Essas combinações podem ser descritas da seguinte forma:

$$u_m = e_m^T x' = \sum_{k=1}^K e_{km} x'_k, m=1, \dots, M. \quad (7)$$

Onde, u_m são as componentes principais, e_m são os autovetores e x' são as anomalias das combinações lineares.

As FOE também podem ser aplicadas individualmente a um campo específico. Para que essa aplicação seja permissível, é necessário que as observações da mesma sejam múltiplas nas dimensões de espaço e no tempo. Mo e Higgins (1998), utilizando as FOE, analisaram os padrões teleconectivos no hemisfério sul, Pacífico-América do Sul (PAS). Wallace e Gutzler (1981) já haviam utilizado a mesma técnica para estudar padrões de teleconectividade no hemisfério norte, como a teleconexão Pacífico-América do Norte (PAN).

Em outros trabalhos de aplicação das FOE, Nery *et al* (1997) avaliaram a variabilidade interanual de precipitação sobre o Rio Grande do Sul. Eles observaram que as flutuações da Oscilação Sul (OS) foram as que mais influenciaram as chuvas na região, constatando que os sinais da OS persistiram vários meses e modificaram o regime de precipitação. Essa modificação positiva/negativa da OS resultou nas oscilações de precipitação sobre a região.

Garcia (2006), fez uso da FOE para avaliar o campo médio do potencial de velocidade em 200 hPa caracterizando a variabilidade existente em relação à Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Ao analisar esse campo, constatou que o

sistema de monção da América do Sul apresentou um padrão multidecadal que pode estar atrelado à variabilidade da ODP. Anos depois, Garcia (2010) avaliou o início e o fim da estação chuva na América do Sul e sua relação com a Zona de Convergência Intertropical do Atlântico (ZCIA) encontrando três situações predominantes e as classificou como: monçônico, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e simétrico. Os dois primeiros possuindo uma variabilidade na escala anual e, o terceiro, em uma escala considerada semianual.

Analisando a pluviometria na região do Piauí, Guedes *et al* (2010) constataram um padrão mensal nas 27 estações avaliadas, obtendo um aproveitamento de quase 90 % justificados apenas nas duas primeiras componentes. Com isso demonstraram que houve uma correlação de alto grau entre os fatores de tempo e de espaço do regime pluviométrico sobre a região.

Siqueira (2012), aplicou a ACP em dados de precipitação de reanálise (baixa resolução, $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ em ponto de grade) e os compilados pela Universidade Delaware (alta resolução, $0,5 \times 0,5$ em ponto de grade) e observou um padrão na primeira componente associado ao deslocamento anual da Alta da Bolívia e, na segunda componente, um padrão associado a variabilidade entre os eventos El Niño e La Niña.

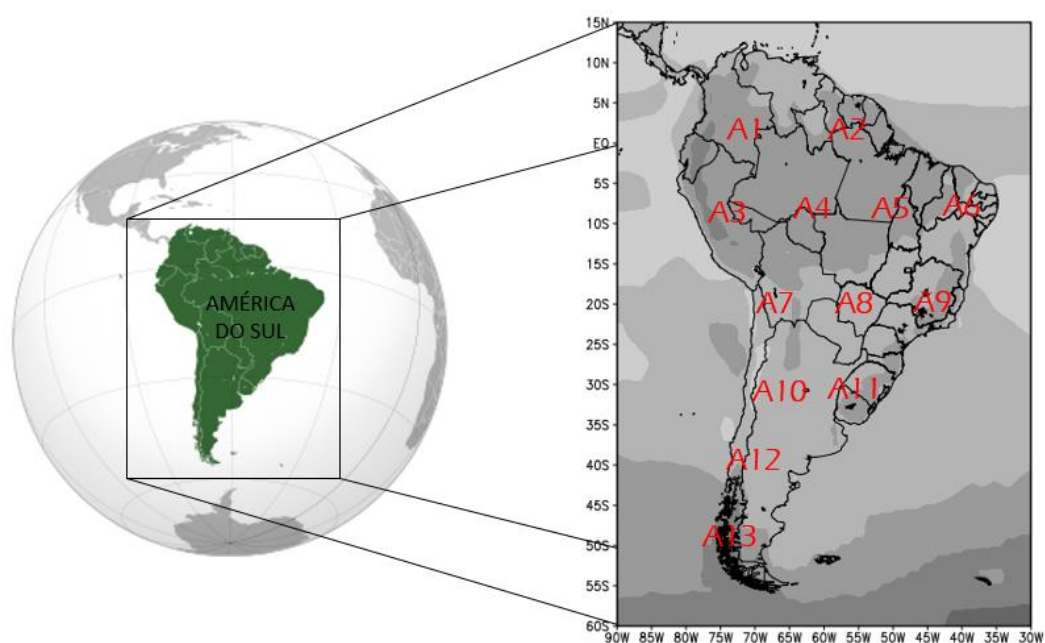
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Dados Utilizados

Para esse estudo foram utilizados médias mensais do albedo planetário coletados pelo sensor Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), a bordo do satélite TERRA. Esse satélite possui uma órbita quase polar e sincronizada com o Sol e está a 705 km de altitude, aproximadamente. Ele cruza a linha do Equador às 10 horas e 30 minutos da manhã em hora local (13 horas e 30 minutos no horário de referência UTC) em órbita de caráter descendente.

A fim de um melhor estudo e uma melhor avaliação do continente, a América do Sul foi dividida em 13 áreas de igual tamanho em pontos de grade e graus com 10° de latitude por 10° de longitude de área espacial, respectivamente. Os dados estão dispostos em regime de tempo mensal, cobrindo o período de março de 2000 a dezembro de 2011 e espacial com resolução de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ de latitude e longitude, respectivamente. A Figura 9 mostra a localização de cada área.

Figura 9: Divisão da América do sul em 13 áreas de 10° de latitude por 10° longitude, aproximadamente 1000 km x 1000 km.



Fonte: Autor, 2015.

3.2. Métodos

No primeiro momento, utilizou-se a análise exploratória de dados (AED) para caracterizar e observar a distribuição dos valores do albedo em cada área de estudo, de A1 a A13. Fez-se uso do gráfico do tipo boxplot para se destacar onde a maior parte dos valores do albedo em cada área de estudos se concentraram, como também, mostrou-se quais áreas apresentaram valores extremos (outliers).

Em seguida, avaliou-se quais as áreas que apresentaram as maiores diferenças expressivas entre elas. Com essa informação das áreas, gerou-se os gráficos do tipo linha de cada região para se observar peculiaridades relacionadas as variabilidades sazonal (estações do ano) e interanual (fenômeno El Niño-Oscilação Sul).

Nesse estudo não foi levado em consideração a variabilidade interdecadal, pois, os dados cobrem um pequeno período de tempo, isto é, estão dispostos desde março de 2000 a dezembro de 2011. No caso, para se estudar a variabilidade interdecadal, por exemplo, a variabilidade do albedo em relação as fases da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) seria necessário um maior período de dados.

Computaram-se os valores médios para cada área de estudo e separaram-se os meses e os anos onde foram observados os valores de mínimo e máximo do albedo para cada região de estudo, a fim de se estudar quais as regiões apresentaram valores mínimos e máximos durante os eventos de El Niño ou La Niña, respectivamente. Graficaram-se a variabilidade espacial em conjunto com a temporal, em regime mensal, dos valores dos albedos.

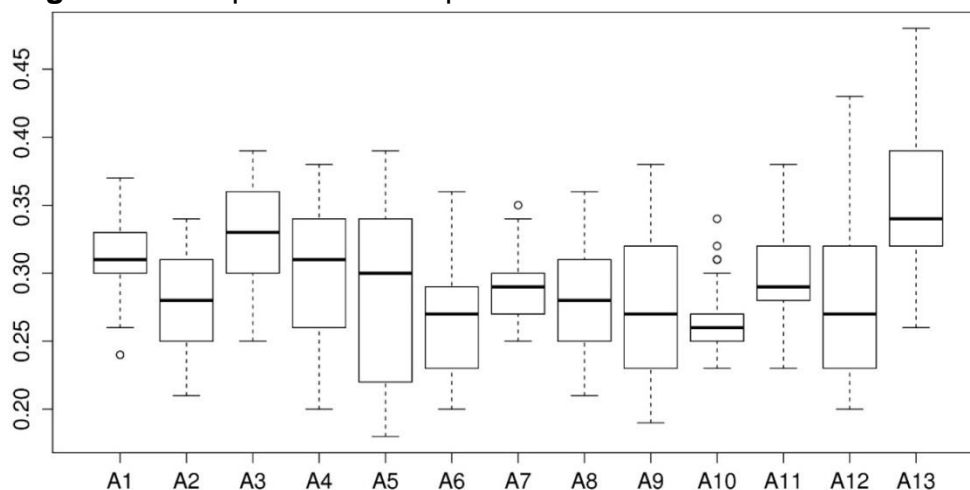
Por fim, aplicaram-se as técnicas das ondeletas e funções ortogonais empíricas no conjunto de dados para avaliar a periodicidade (ondeletas) da variação do albedo e quais os fenômenos que podem explicar de melhor forma essa variabilidade (análise das componentes principais), respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise Exploratória dos Dados do Albedo em todo o período de estudo.

Na Figura 10 mostrou-se o gráfico do tipo boxplot relativo às médias mensais do albedo para cada área de estudo de A1 a A13. As bordas superiores e inferiores de cada retângulo representam 75% e 25%, respectivamente, ou seja, 50% das frequências de ocorrência do albedo estão dentro do retângulo (dentro desse intervalo).

Figura 10: Boxplot do Albedo para as áreas de estudo de A1 a A13.



Fonte: Autor, 2015.

Observou-se, na Figura 10, uma variabilidade grande da distribuição dos albedos entre as áreas estudadas, o que já era esperado por causa da distribuição espacial da América do Sul e os fenômenos meteorológicos que nela atuam. O destaque fica evidente quando se compara as áreas A5 e A10. Nota-se que a extensão dos retângulos dos boxes são distintas e que a concentração dos valores do albedo variam muito (pouco) na área A5 (A10).

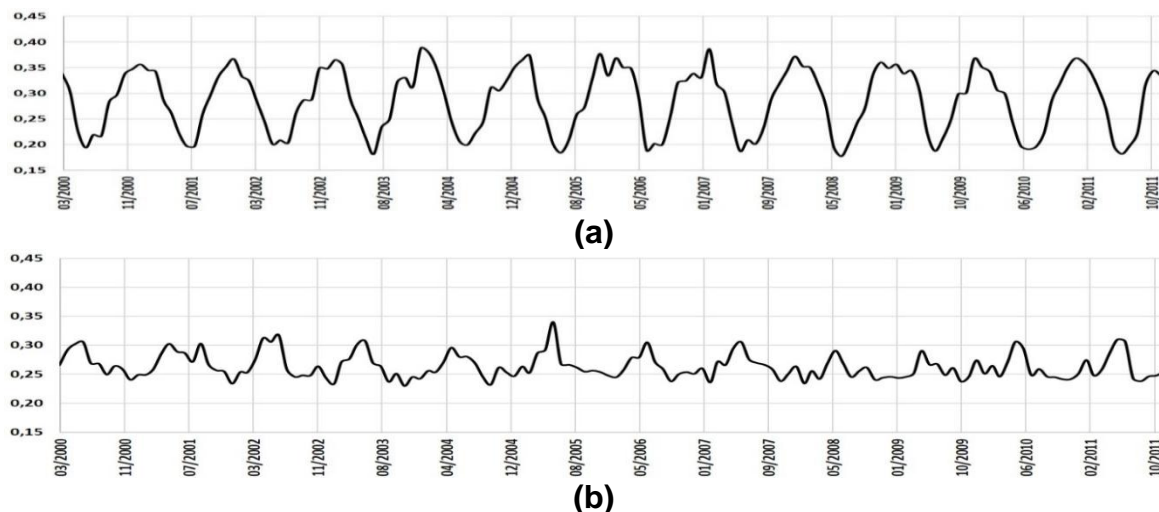
A área A5 está situada sobre o estado de Tocantins e sofre a influências da ZCIT, ZCOU e ZCAS. Por essa razão, a variação de nebulosidade e do albedo são altas. Já a região A10 está situada entre o Chile e norte da Argentina, essa é uma região montanhosa e desértica que resulta em um variação pequena do albedo.

No boxplot da área A5 notou-se que 50% dos dados concentraram-se entre os valores do albedo de 0,20 e 0,35. Já na área A10, 50% dos dados ficaram entre o intervalo de 0,25 e 0,30. O destaque na área A10 foram 3 outliers do albedo, 0,31, 0,32 e 0,34, respectivamente em, maio e junho de 2002, julho de 2002 e junho de 2005. Esses meses e anos foram considerados períodos de El Niño. Esse resultado condiz com o observado na literatura que relata que em períodos de El Niño as regiões ao sul da América do Sul apresentaram um aumento da taxa de precipitação (SIQUEIRA, 2012).

Outros outliers foram observados nas áreas A1 (outliers inferior, com o valor de 0,24 em janeiro de 2003 e fevereiro de 2007, anos de El Niño) e A7 (outliers superior, com os valores de 0,33 em fevereiro de 2002, 0,34 em fevereiro de 2011 e 0,35 em janeiro de 2008, anos de La Niña). Nas outras áreas, não foram observados outliers. Destacaram-se, também, as áreas, A13 que apresentou os maiores valores médios do albedo, chegando a ultrapassar 0,45, precisamente o valor de 0,48 em julho de 2001, ano de La Niña e A5 que apresentou o menor valor do albedo, 0,18 no mês de julho dos anos de 2003, 2005, 2008 e 2011. Outro fato que influencia valores elevados para essa área é a presença de neve durante quase todo o ano.

Na Figura 11, mostraram-se os gráficos de linhas da distribuição da média das áreas do albedo entre março de 2000 e dezembro de 2011 para duas áreas selecionadas. Em (a) para área A5 e em (b) para área A10.

Figura 11: Gráfico dos valores médios mensais do albedo para o período de março de 2000 à dezembro de 2011 das áreas de estudo A5 em (a) e A10 em (b). Fonte: Autor, 2014.



Fonte: Autor, 2015.

Observou-se que existiu uma diferença na amplitude entre os valores mínimos e máximos dos picos do albedo sobre as regiões. A Região A5 apresentou uma amplitude maior que o observado na Região A10. Esse fato é observado devido à localização das regiões e a fenologia meteorológica que nelas interagem.

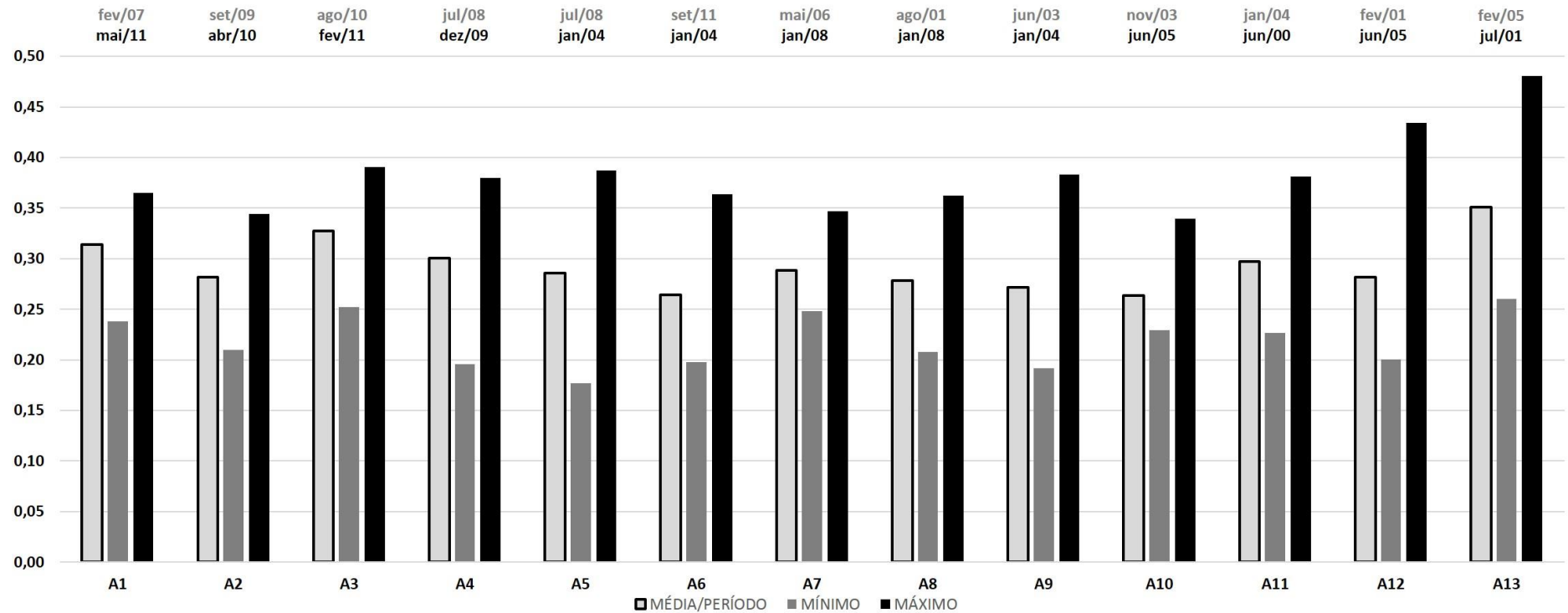
No caso, a região A5 está situada entre o Norte e Nordeste do Brasil. Essa região é muito influenciada por fenômenos de escala global como as Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) e a Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS). Já, a área A10 está localizada ao norte da Argentina. Essa região sofre com os chamados fenômenos transientes: sistemas frontais, bloqueios atmosféricos, complexos convectivos de mesoescala, etc. Salienta-se que as regiões apresentam características de vegetação diferentes e distintas (semiárido) que podem influenciar de forma significativa os valores dos albedos.

Notou-se claramente a sazonalização típica anual em ambas as Regiões A5 e A10. Entretanto, surgem algumas diferenças quando são analisadas as características do albedo em relação à variabilidade interanual (variabilidade de alta frequência). Observando a relação entre os fenômenos El Niño e La Niña e o albedo, viu-se que, durante os períodos de El Niño a Região A5 apresentou a amplitude dos valores de albedo menor. A Região A10 apresentou o oposto, isto é, a amplitude foi maior. Durante episódios de La Niña, foi observado o oposto para ambas as regiões.

Esse fato se deve ao crescimento e tipo de vegetação (ROSA et al, 2013). A região A5 é uma Região de transição entre a vegetação da Floresta Amazônica e a vegetação do Cerrado.

Na Figura 12, mostraram-se os valores dos albedos mínimos, médios e máximos para as 13 regiões de estudo. Acima do gráfico, foram escritos o mês/ano que ocorreram os Albedos Mínimos e Máximos para cada região, respectivamente. Notou-se, na Figura 12, que as regiões posicionadas mais ao norte apresentaram valores mínimos (máximo) do albedo em anos de El Niño (La Niña). Nas regiões mais ao sul do continente, ocorreu o oposto.

Figura 12: Valores dos albedos mínimos, médios e máximos para as 13 regiões de estudo. Acima do gráfico, estão o mês/ano em que ocorreram os albedos mínimos e máximos para cada região, respectivamente.

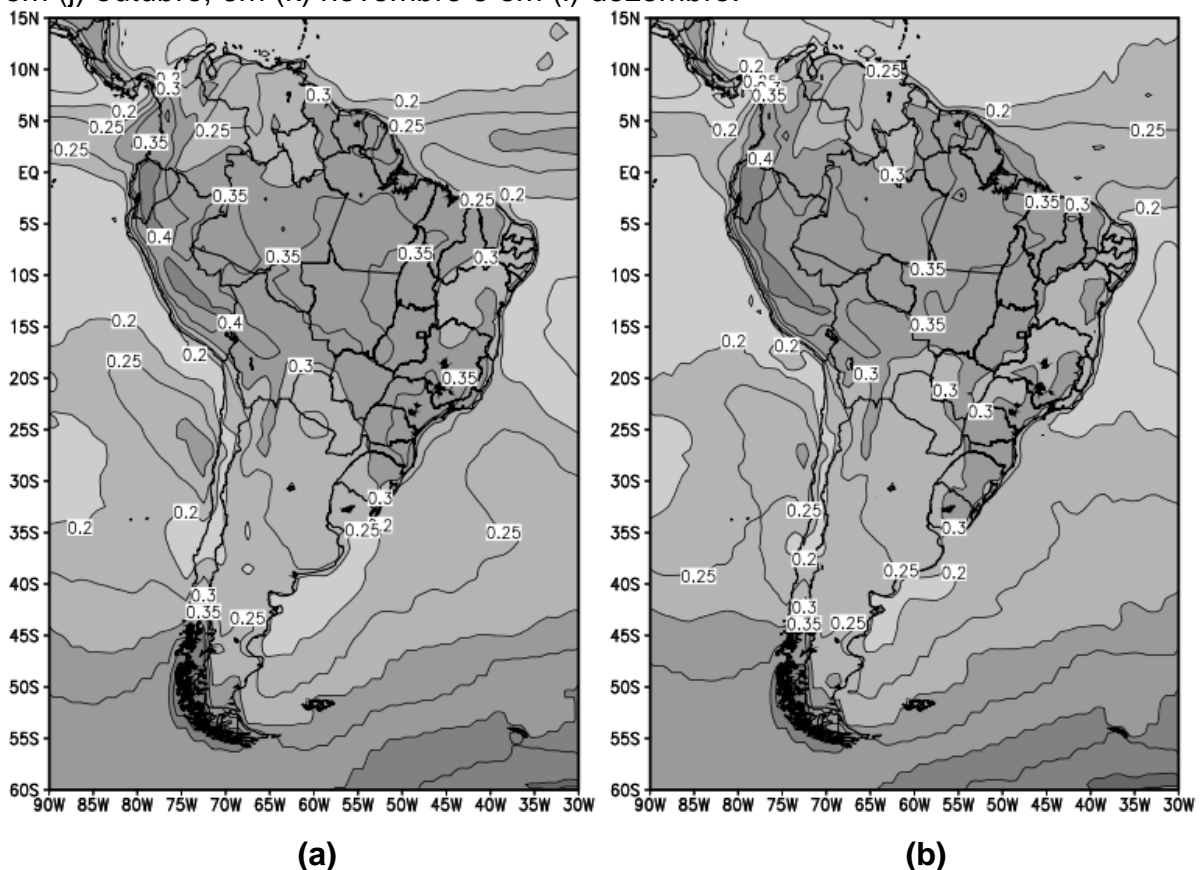


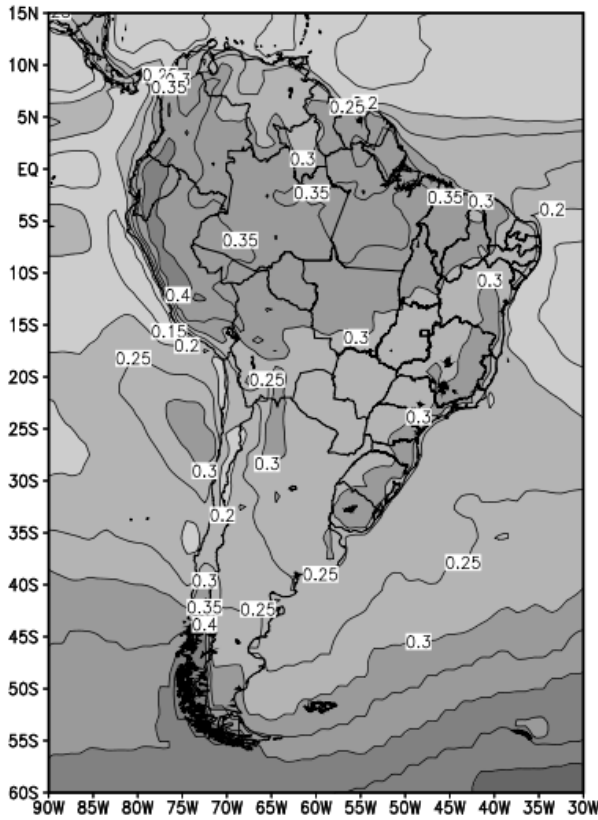
Fonte: Autor, 2015.

Na Figura 13, mostraram-se os mapas médios mensais do valor do albedo para o período de estudo de março de 2000 a dezembro de 2011. Em (a) janeiro, em (b) fevereiro, em (c) março, em (d) abril, em (e) maio, em (f) junho, em (g) julho, em (h) agosto, em (i) setembro, em (j) outubro, em (k) novembro e em (l) dezembro.

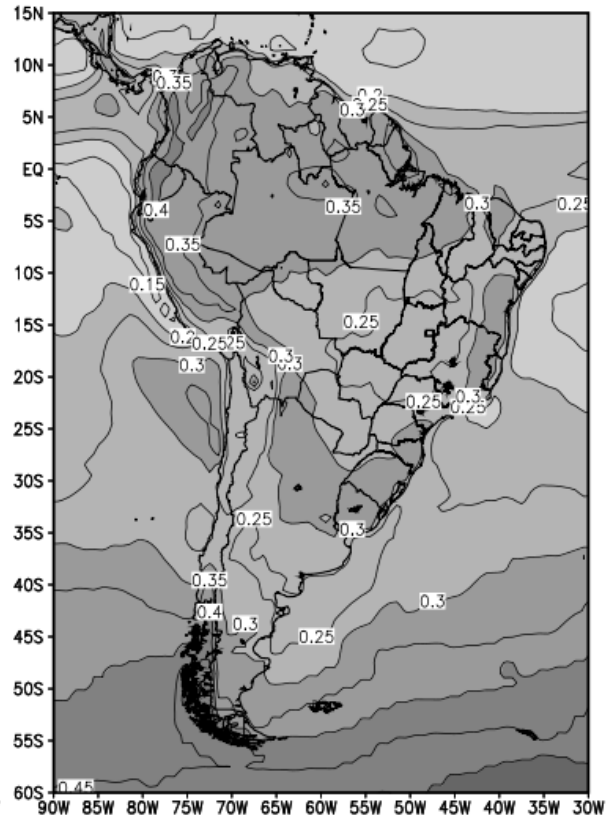
Observou-se o padrão de circulação anual no valor médio do albedo sobre continente. Durante o verão, ocorreu o aumento do valor do albedo sobre a região central. Já, durante o inverno, os resultados mostraram o oposto, isto é, houve uma redução dos valores do albedo na mesma região. Nas regiões extremo norte e extremo sul do continente esse padrão de distribuição regional e temporal do albedo não foi observado. O que leva a concluir que a amplitude entre um máximo e um mínimo seja menor nos extremos do que na região central. Esse fato já foi mencionado anteriormente e observado na Figura 10 e na Figura 11. Siqueira (2012) observou esse padrão ao analisar o campo da precipitação.

Figura 13: Mapas médios mensais do valor do albedo para o período de estudo de março de 2000 a dezembro de 2011. Em (a) janeiro, em (b) fevereiro, em (c) março, em (d) abril, em (e) maio, em (f) junho, em (g) julho, em (h) agosto, em (i) setembro, em (j) outubro, em (k) novembro e em (l) dezembro.

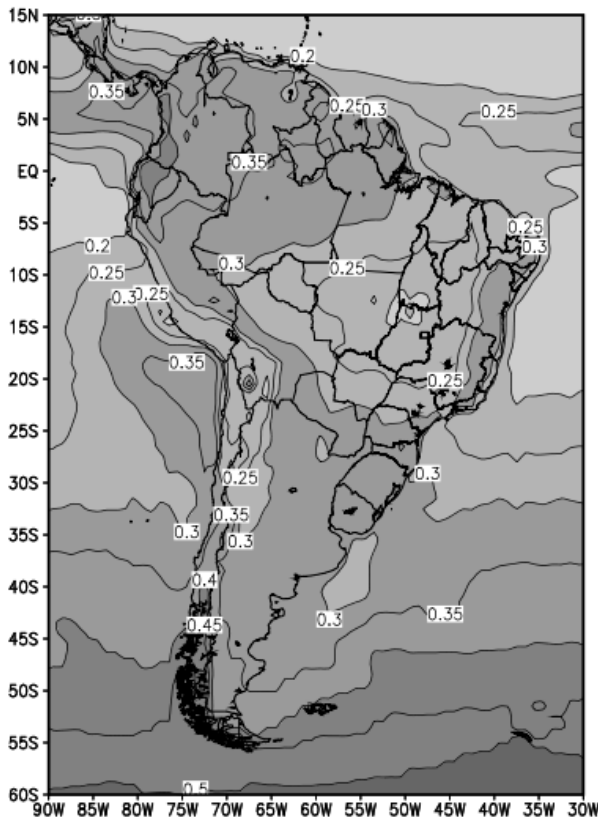




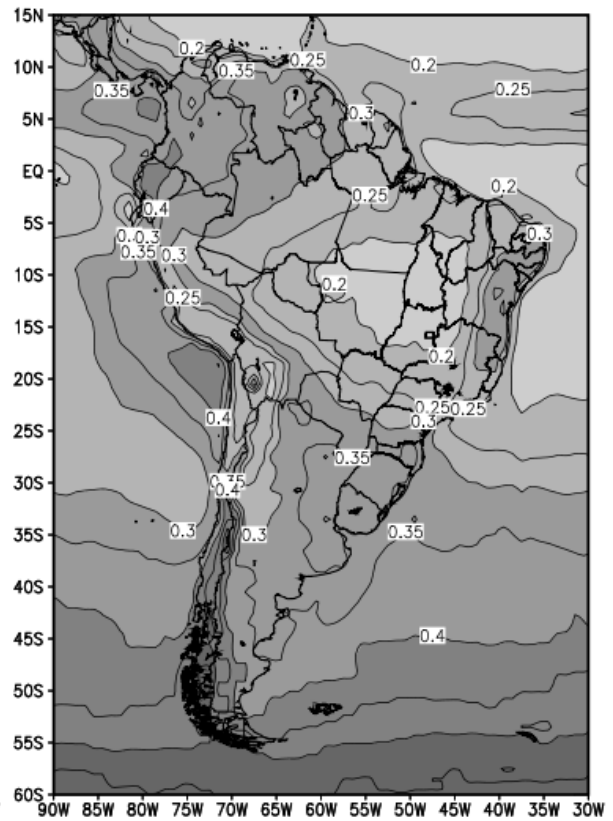
(c)



(d)

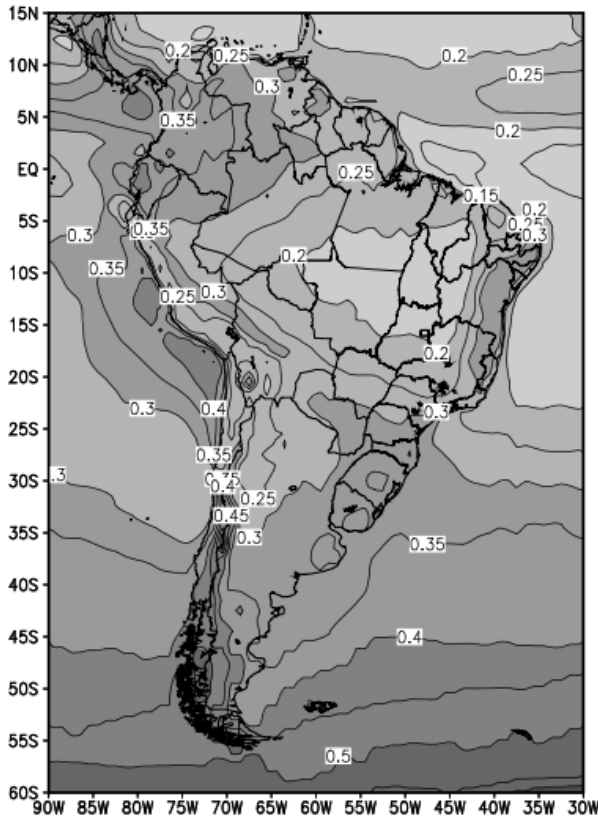


(e)

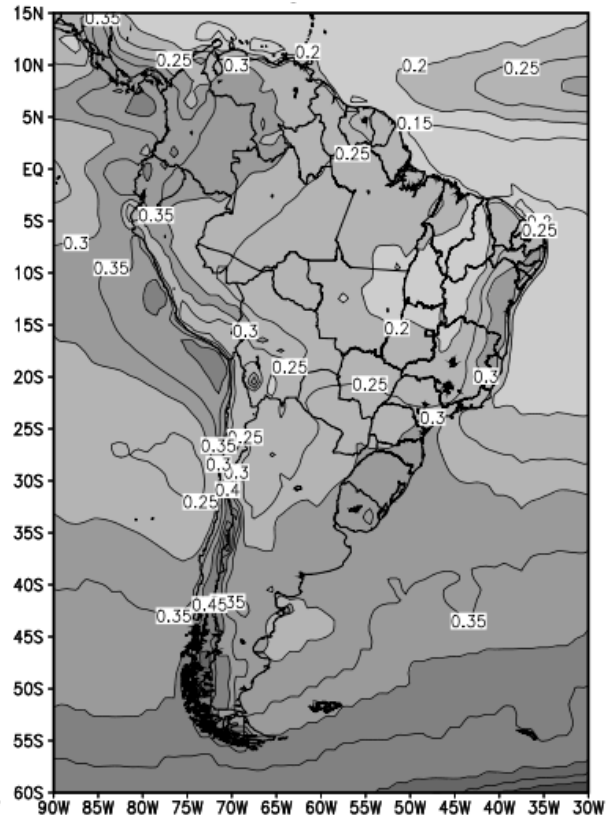


(f)

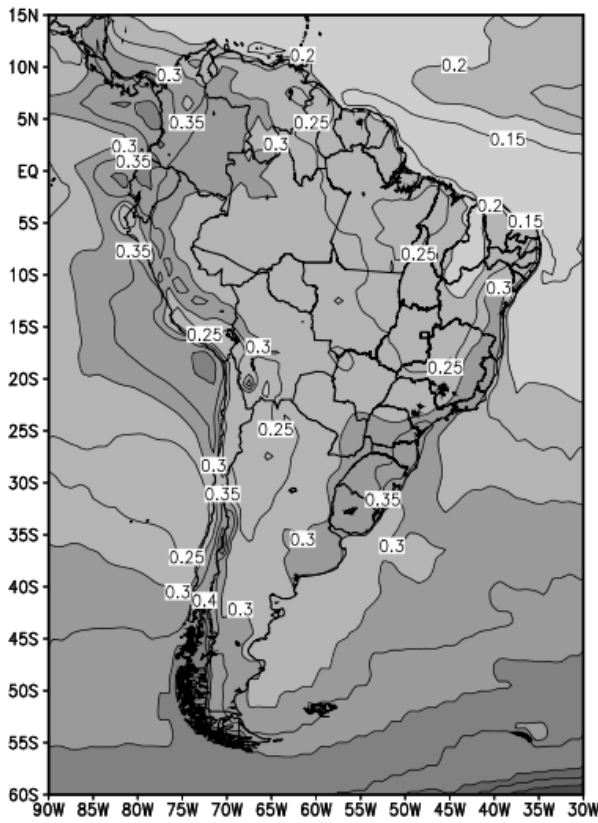
Continua...



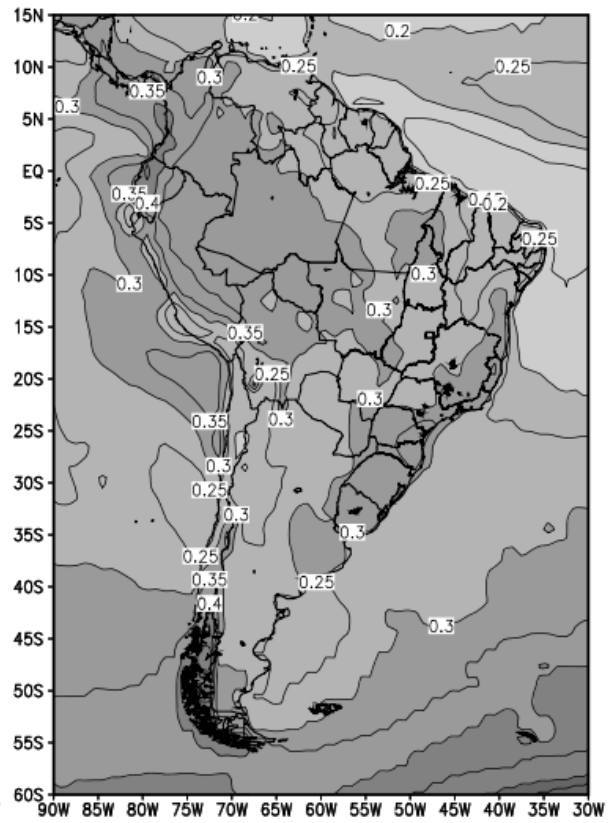
(g)



(h)

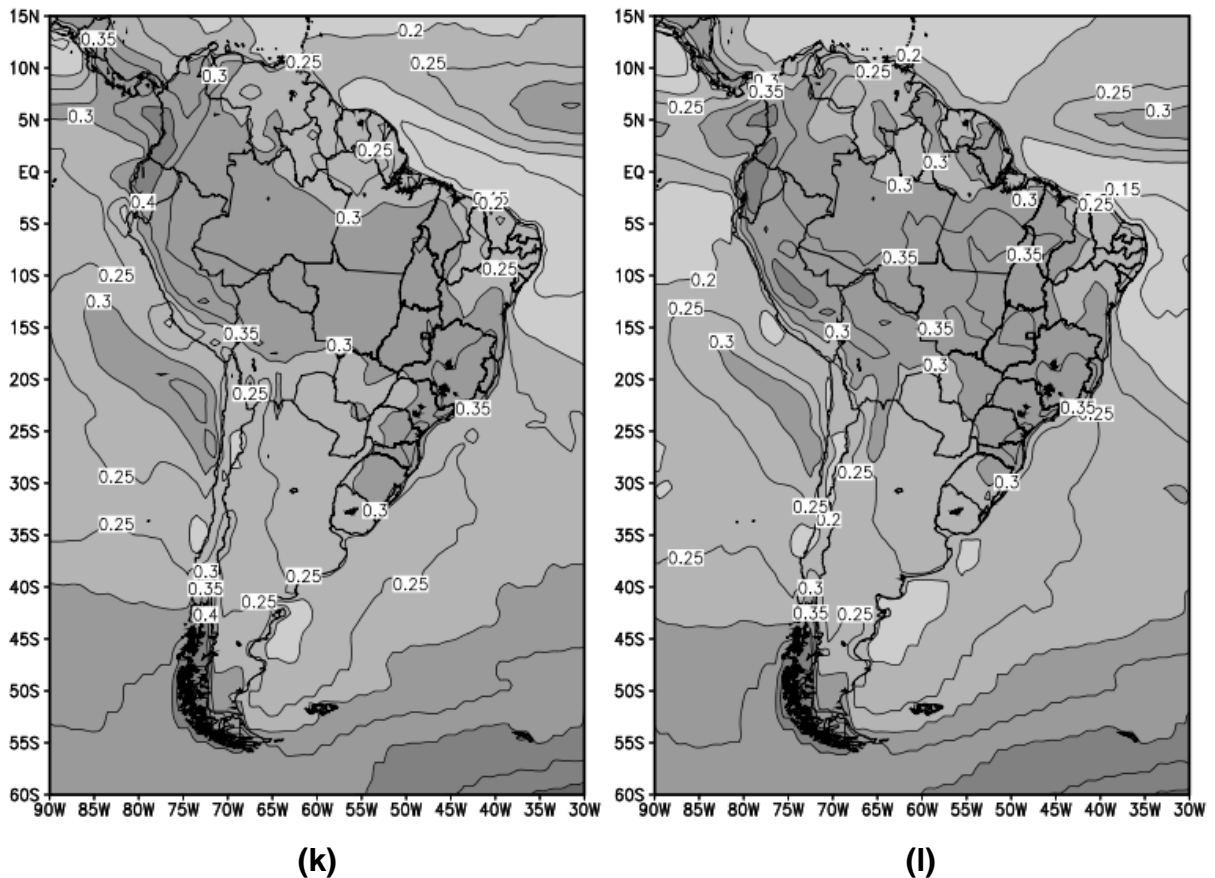


(i)



(j)

Continua...



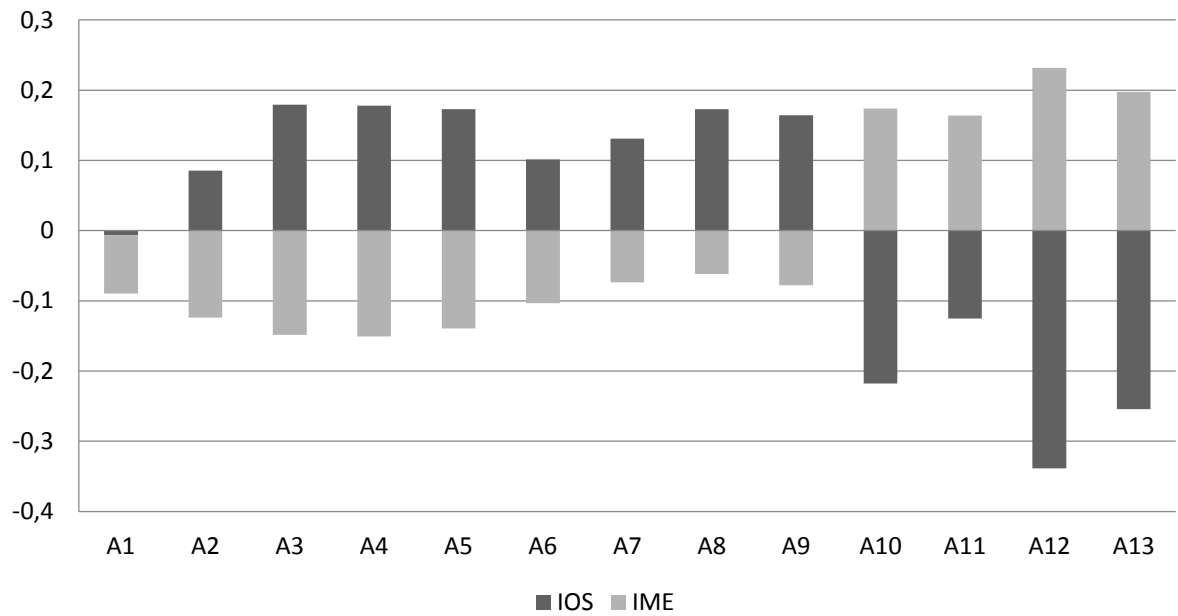
Fonte: Autor, 2015.

Notou-se, também, um contraste bem definido entre as regiões centro-norte e sul a América do Sul. Quando a região centro-norte apresenta valores de albedo elevados, as regiões mais ao sul apresentam valores de albedo menores e vice-versa. Esse resultado está coerente com a precipitação observada.

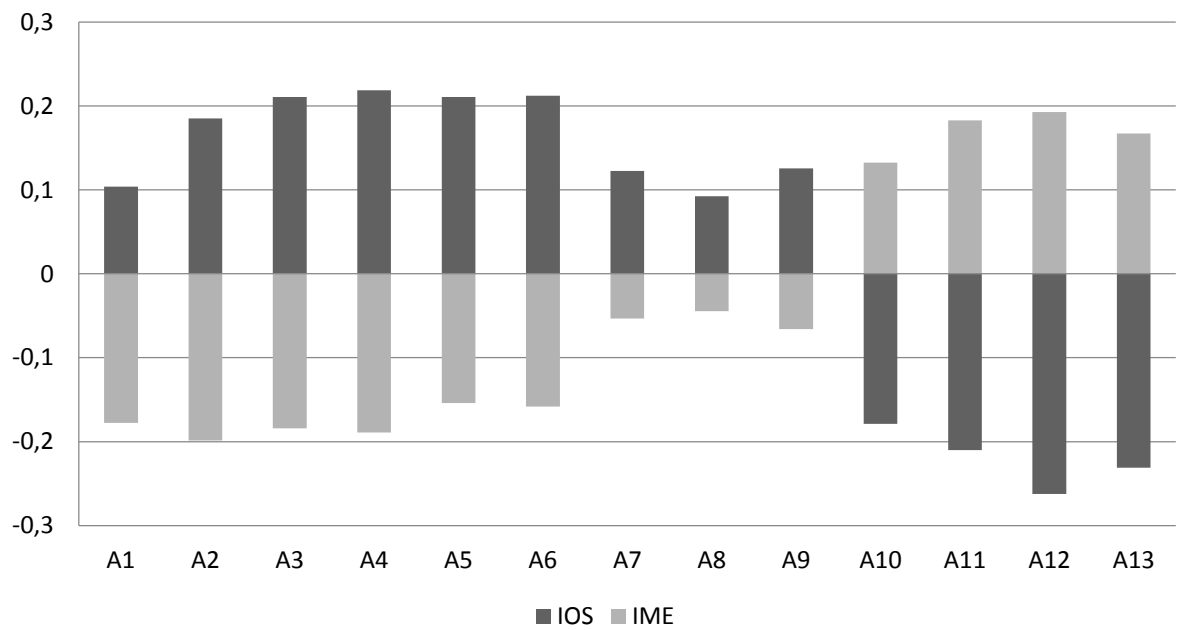
4.2. Análise das Correlações entre albedo com o IOS e IME.

Na Figura 14 são mostrados os valores dos coeficientes das correlações de Pearson entre o albedo e os índices, índice da Oscilação Sul (IOS) e índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul (IME) em (a) simultâneas, em (b) índices adiantados um mês, em (c) índices adiantados dois meses e em (d) índices adiantados três meses.

Figura 14: Valores das correlações entre o albedo e os índices IOS e IME em (a) simultâneas, em (b) índices adiantados um mês, em (c) índices adiantados dois meses e em (d) índices adiantados três meses.

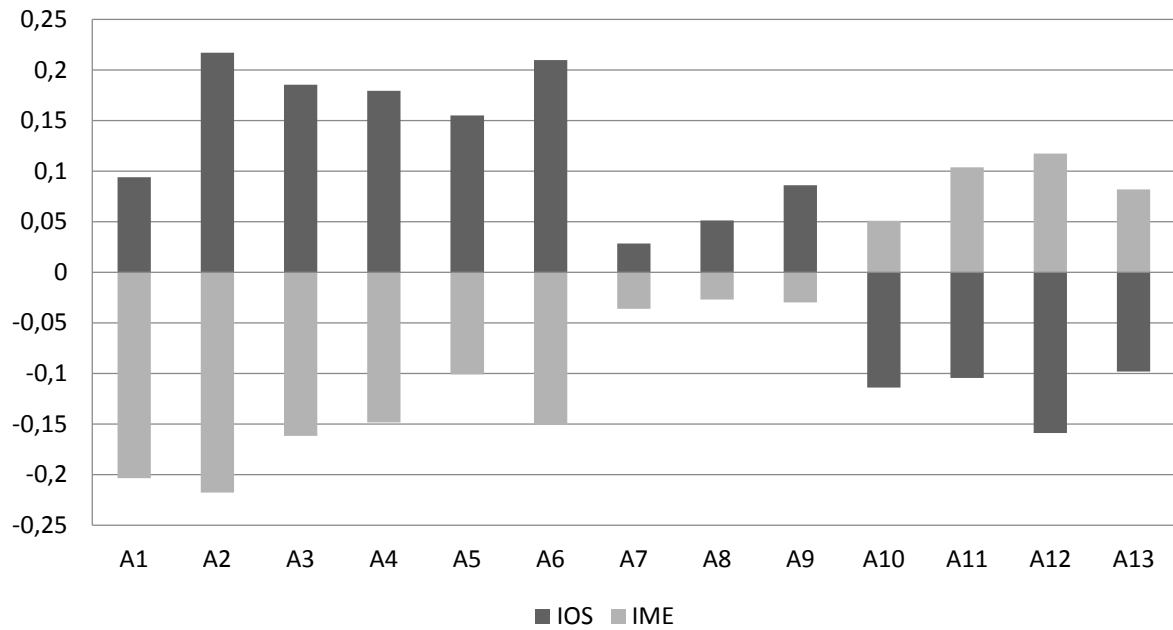


(a)

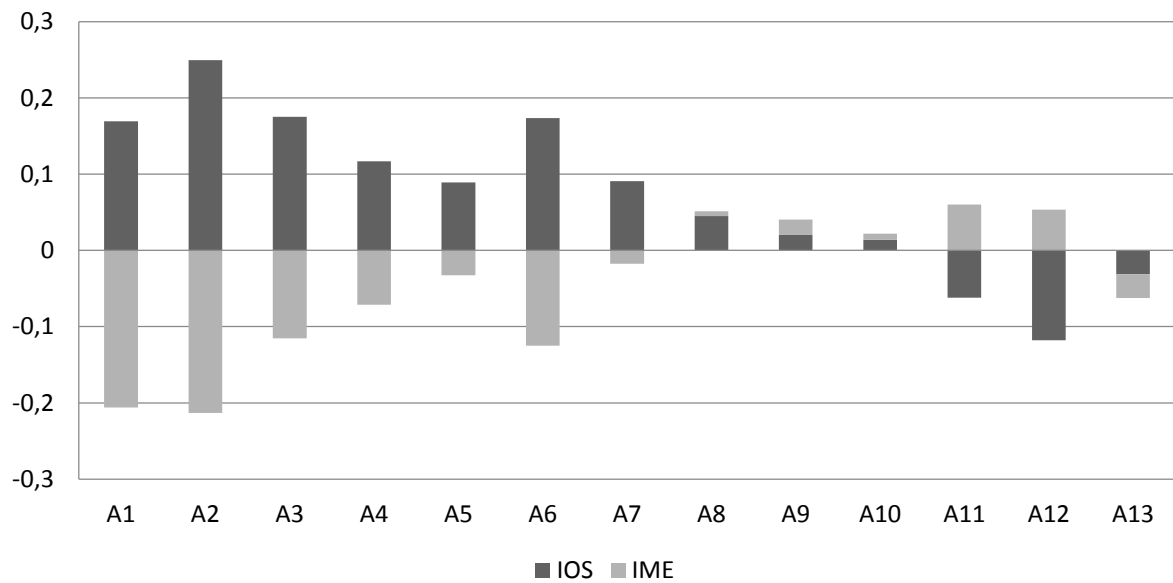


(b)

Continua...



(c)



(d)

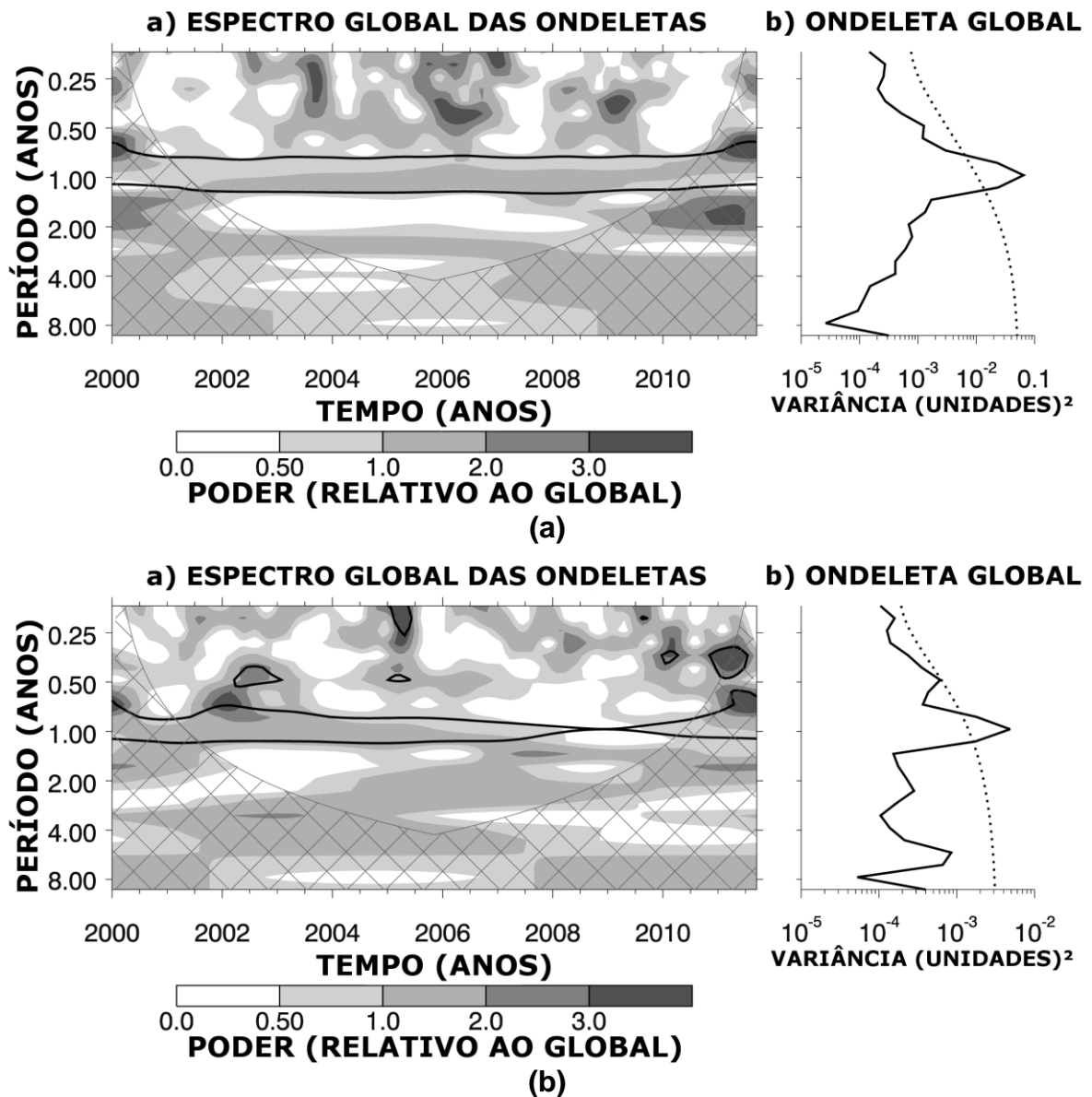
Fonte: Autor, 2015.

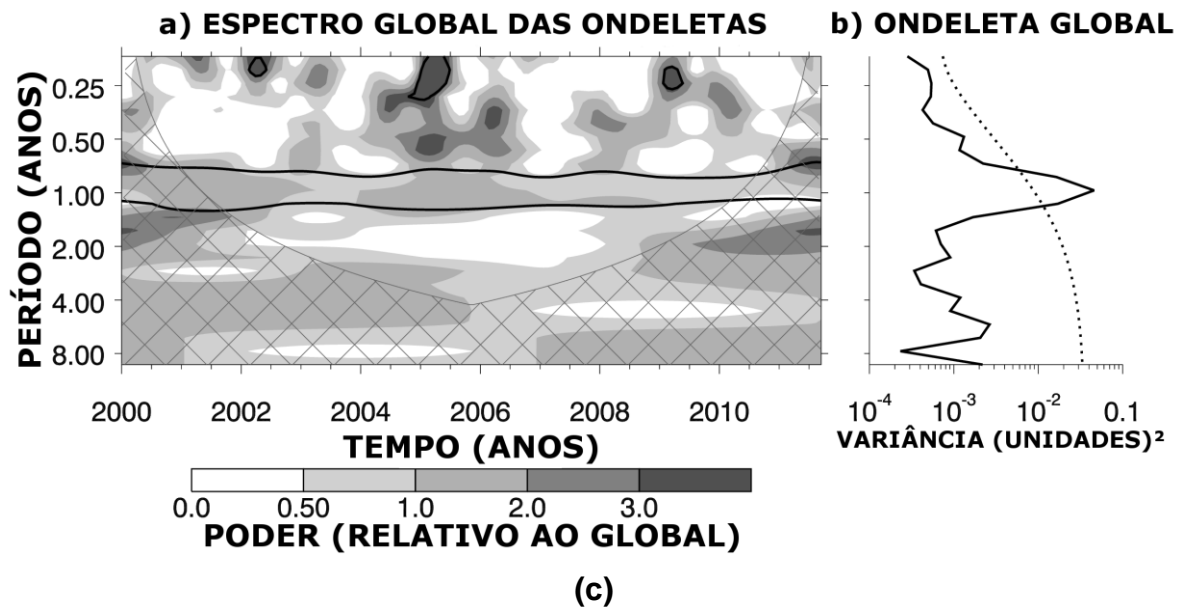
Viu-se que, os melhores valores dos coeficientes de correlação entre o albedo e os índices foram com adiantamento entre 2 e 3 meses para A2 (região influenciada pela ZCIT), e para A12, com os índices antecipados em 1 mês. Valores considerados entre fraco e moderado. Contudo, mesmo os valores das correlações sendo baixos, ressalta-se que o nível de significância estatística é superior a 95%.

4.3. Análise das Ondeletas para as regiões A5, A10 e A12.

Na Figura 15 são mostradas as análises das ondeletas para as regiões de estudo A5, A10 e A12. Os gráficos representam respectivamente o espectro global das ondeletas e a variância da ondeleta global, em (a) para a área de estudo A5, em (b) para a área de estudo A10 e em (c) para a área de estudo A12.

Figura 15: Análise das Ondeletas para os valores médios das áreas de estudo A5, A10 e A12, respetivamente a, b e c.





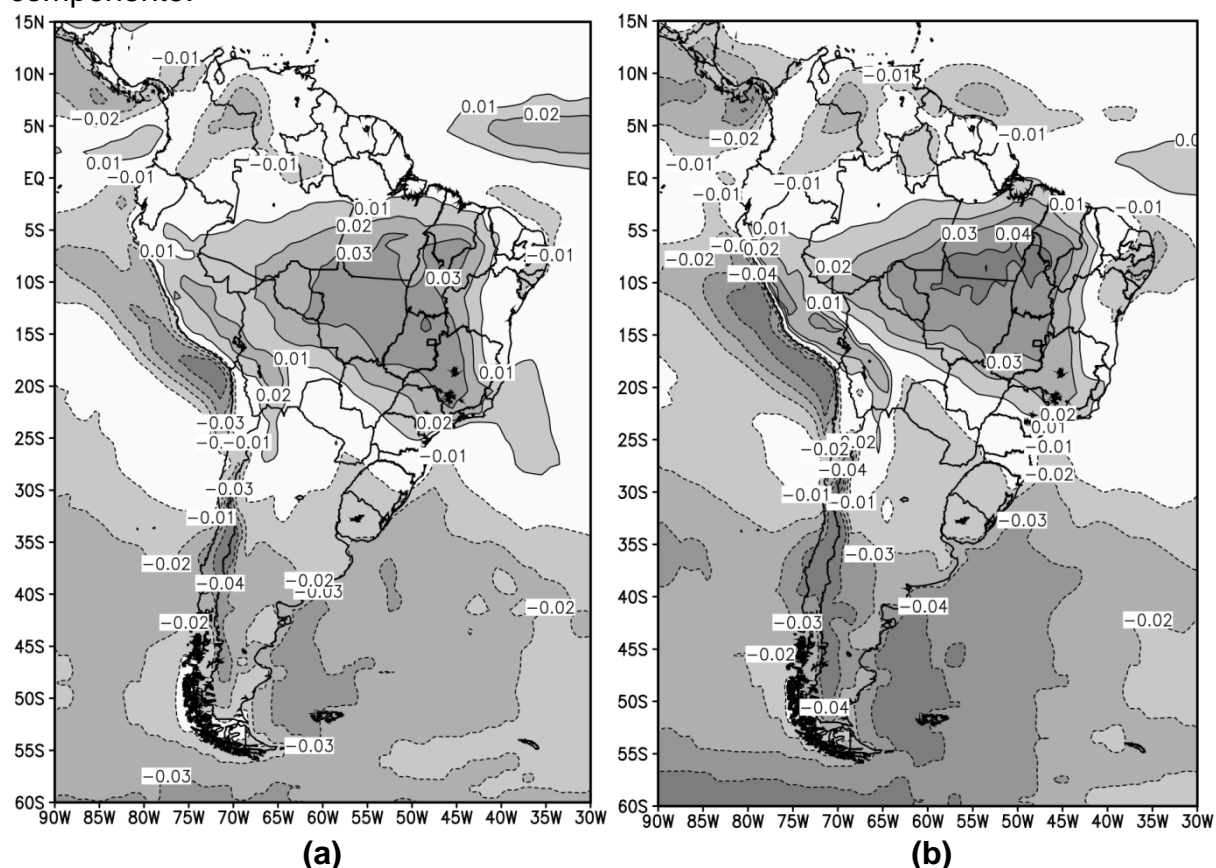
Fonte: Autor, 2015.

Observaram-se, para as três regiões de estudo, periodicidades características da variabilidade sazonal e interanual. Ao se observar ambos os espectros das ondeletas períodos relativos a 3 meses (0,25 anos), 6 meses (0,5 ano), 1 anos, 2 anos e 4 anos são evidentes. Os gráficos da ondeleta global mostram a mesma periodicidade com destaque à variação interanual, relativa aos fenômenos El Niño-Oscilação Sul.

4.4. Análise das Componentes Principais do Albedo

Na Figura 16, mostraram-se as duas primeiras componentes das funções ortogonais empíricas do albedo para o período de março de 2000 a dezembro de 2011. São mostradas em (a) primeira componente e em (b) segunda componente, respectivamente. Já na Tabela 3 mostram-se os valores da variância explicada para as duas primeiras componentes.

Figura 16: Análise das componentes principais do albedo para o período de março de 2000 a dezembro de 2011. Em (a) primeira componente e em (b) segunda componente.



Fonte: Autor, 2015.

Tabela 3: Porcentagem da variância explicada para as duas primeiras componentes da análise das componentes principais dos dados do albedo.

Primeira Componente	Segunda Componente
44,5%	41,9%

Fonte: Autor, 2015.

Observou-se que ambas as componentes apresentaram o mesmo comportamento e valores de variância bem próximos e que explicam mais de 85% da variabilidade do albedo. Pelo padrão de comportamento espacial, as duas componentes demonstram a variabilidade sazonal observada na América do Sul que está diretamente relacionada a circulação nos níveis altos da atmosfera e ao deslocamento anual da alta da Bolívia. Esse resultado foi observado por Siqueira (2012).

Notou-se, também, que o padrão de um núcleo na região central do Brasil apresentou valores positivos, enquanto mais ao sul da América do Sul, região sobre a Argentina e sul do RS, os valores foram negativos. Esse fato demonstra uma relação de oposição do albedo. Quando o albedo se apresenta elevado na região central do Brasil, sobre a Argentina, por exemplo, o albedo fica menos elevado. Padrões opostos indicam que as estações chuvosas (maior nebulosidade) ocorrem em períodos diferentes do ciclo anual. Esse padrão corresponde ao observado na zona de convergência da América do Sul.

A ZCAS e a configuração de isolinhas bem delineada e positiva, sugere que a variabilidade do albedo seja condicionada pelo ciclo anual do aquecimento (resfriamento) continental.

5. CONCLUSÕES

Os valores do albedo apresentaram a configuração espacial e temporal do padrão de circulação atmosférica anual sobre o continente Sul-americano. Durante o verão (inverno) as regiões mais ao norte (sul) apresentaram valores altos (baixos) do albedo medido pelo projeto CERES. Das 13 regiões de estudo selecionaram-se as áreas A5, A10 e A12 por apresentarem diferenças distintas na distribuição do albedo durante o período de estudo.

Ao se aplicar a análise das ondeletas a esses conjuntos de dados, observou-se que ambos mostraram as periodicidades relativas à variabilidade mensal, sazonal, semestral, anual e interanual. Não foi possível verificar a existência da variabilidade interdecenal por causa do tamanho do conjunto de dados, menos de 15 anos de informação em regime mensal.

As funções ortogonais empíricas mostraram, praticamente, o mesmo padrão de disposição do albedo de forma espacial nas duas primeiras componentes. As duas primeiras componentes representaram juntas mais de 80% da variância explicada do conjunto de dados. O padrão observado nas duas componentes remete ao observado na circulação da Alta da Bolívia e da ZCAS. Sugere, ainda, que as estações chuvosas sejam opostas entre o Sul e o Sudeste (Centro-Oeste) do Brasil no que se refere ao ciclo anual.

6. REFERÊNCIAS

AHRENS, C. D. 2006. **Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate, and the Environment**. Eighth Edition. Thompson, Brooks/Cole. USA.

ALVALÁ, R. C. S., MACHADO, L. A. T., ROSSATO, L., PEREIRA, S.P. **Os satélites meteorológicos de nova geração e suas contribuições para as previsões de tempo e clima**. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.770-780. 770, 2006.

AYODE, J.O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**, Editora. DIFEL, São Paulo-SP. 1986.

BARKSTROM, B., E. HARRISON, G. SMITH, R. GREEN, J. KIBLER, R. CESS, and the ERBE Science Team, Earth Radiation Budget Experiment (ERBE), Bull. Am. Meteorol. Soc., 70,1254–1262, 1989.

BUDIKOVA, D. 2013. **Albedo**. Retirado de <http://www.eoearth.org/view/article/149954> Acessado em 13 de abril de 2012 as 14 horas.

CHAPIN, F.S. III, MATSON, P.A., MOONEY, H.A., 2002, **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. Springer Science Business Media, LLC, New York, NY, USA, 456 pp.

CUNHA. G. R; PIRES. J.L.F; DALMAGO. G. A; SANTI. A; PASINATO. A; SILVA. A. A. G; ASSAD. E. D; ROSA. C. M.; El Niño/La Niña – Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto**, edição 121, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS. janeiro/fevereiro de 2011.

EARTH RADIATION BUDGET EXPERIMENT.

<http://science.larc.nasa.gov/erbe/>. Acessado em 13 de julho de 2013 às 18 horas.

ESCHENBACH, W. **Albedic Meanderings**. <http://wattsupwiththat.com/2015/06/03/albedic-meanderings/>. Acessado em 11/06/2015 as 02:00h.

FEDOROVA, N., CARVALHO, M. H.; Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño: nebulosidade convectiva nas regiões equatoriais e tropicais da América do Sul e oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol. 21, n.1.Abril / 2006 - Páginas: 1-14.

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) **IPCC**, Geneva, Switzerland. p 104. 2007. [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment report/ar4/syr/ar4_Syr_full_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment%20report/ar4/syr/ar4_Syr_full_report.pdf). Acessado em 12 de abril de 2011 as 13:00 horas.

FREITAS, E. **América do Sul**. Brasil Escola. <http://www.brasilecola.com/Geografia/america-sul.htm>. Acessado em 18 de julho de 2013 as 08:15 horas.

GABOR, D.: Theory of Communication. **J.Inst.Elect.Eng.**, 93, 429-457, 1946.

GROSSMAN, A; MORLET, J. 1984. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. **Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Mathematical Analysis**, 15:732-736.

GUEDES. R. V.S., LIMA, F. J.L., AMANAJÁS, J. C., BRAGA, C.C. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no estado do Piauí e agrupamento pelo método de WARD. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 27, n. 1, jan/mar. 2010.

<http://enos.cptec.inpe.br/> acessado em 18 de março de 2013 as 13 horas.

http://enos.cptec.inpe.br/saiba/img/fig_el_nino.jpg. Acessado em 25 de março de 2011 as 10 horas.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9rica_do_Sul. Acessado em 18 de julho de 2014 as 08:00 horas.

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>. Acessado em 28 de abril de 2014 as 22:00 horas.

Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, n. 3, p. 809–817,1998.

KUKLA, G., ROBINSON, D., 1980, Annual Cycle of Surface Albedo, Monthly Weather Review. vol.108, issue 1, **American Meteorological Society**, Boston, MA, USA.

LEIVAS, J.; FONTANA, D.; BERLATO, M.; CARDOSO, L.; **Varição diária do albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS-RS**. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007. Aracaju – SE.

LOPES, F. Z. **Relação entre o MEI (Mulivariante ENSO Index) e a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul**. 2006. 122 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

LUBIS, S. **Mean Annual of Terrestrial Radiation [TOA] and Albedo**; Graduate Student of Leipzig Institute for Meteorology, University of Leipzig, Germany. 2012. <https://sandrolubis.wordpress.com>. Acessado em Abril de 2013.

MANAGÓ, B.L, DOMICIANO, S.M, A influência das nuvens no clima do planeta. **VII Semana de Engenharia Ambiental. 2009**. Capus Irati.

MO, K.C.; W. HIGGINS, 1998. The Pacific-South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter. **M.W.R.**,126, 1581-1596.

MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, 107-117, 1987.

MOLION, L.C.B. **Variabilidade e alterações climáticas; Clima e Recursos Naturais**. Instituto politécnico de Bragança, 17 – 41, 2010.

MORLET, G. A.; FOURGEAU, I.; GIARD, D. Wave Propagation and Sampling Theory. Part 1: Complex Signal and Scattering in Multilayered Media. **Geophysics**, v. 47, n 2, p.203-221, 1982 a.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Variabilidade interanual da precipitação do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, 49-62,1997.

North American Space Agency (NASA). <http://trmm.gsfc.nasa.gov>. Acessado em 28 de abril de 2014 as 02:00 horas.

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; MARIANO, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar e albedo com ângulo zenital na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n.3ª, 42-49, 2006.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/ El Niño. **Mon. Wea. Rev.**, c. 110, p. 354-384, 1982.

RASMUSSEN, E. M.; WALLACE J. M. **Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation**. Science, v. 222, p. 1195-1202, 1983.

ROPELEWSKY, C. F. e HALPERT, M. S. (1987) Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation (ENSO). **Monthly Weather Review**, 115: 1606-1626.

ROSA, P. A. et al. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487-499, 2013.

SANTOS, E.B. **Índices oceânicos e sua relação com a precipitação pluvial do Rio Grande do Sul**. 2011. 88 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS.

SANTOS. E. P; FILHO, I. M. C; BRITO. J. I. B. **Influência do Índice de Oscilação Sul (IOS) e Anomalia do Niños sobre as chuvas no Nordeste Brasileiro** http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/538_87068.pdf. Acessado em 12 de abril de 2012 as 14:00 horas.

SERRA, A. Clima da América do Sul. **Revista Geográfica**. T.32, nº 59 (2º semestre 1963), pp. 93-126.

SILVA, R. R.; FRANCHITO, S. H. ; RAO, V. B. Influência da altura e cobertura de nuvens no efeito estufa: um experimento numérico. **VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia - II Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 1994**. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia - II Congresso Latino-Americano e Iberico de Meteorologia. Belo Horizonte, MG. v. 1. p. 526-529.

SIQUEIRA, A. H. B., **Variabilidade do clima da América do Sul e sua relação com os índices oceânicos e atmosféricos**. 2012. 73 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL.

SIQUEIRA, A.H.B.; MOLION, L. C. B. El Niño-Oscilação Sul e a Oscilação Decadal do Pacífico. **IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008, Salvador**. Anais – IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v. 78, n. 12, p. 271- 277, 1997.

TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION. <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Acessado em 13 de julho de 2013 as 17 horas.

- TURKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. Addison Wesley. Reading. MA. 1977.
- WALLACE, J.M.; GUTZLER, D.S. (1981) – Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. **Monthly Weather Review**, 109: 784-812
- WENG, H.; LAU, K.M.: Wavelet, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific. **J.Atmos.Sci.**, 51, 2523-2541, 1994.
- WIELICKI, B. A., BARKSTROM, B. R., HARRISON, E. F., LEE III, R.B., SMITH, G.L., COOPER, J.E.: Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES): An Earth Observing System Experiment, **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, 77, 853– 868. 1996.
- WIELICKI, B. A., CESS, R. D., KING, M. D., RANDALL, D. A., HARRISON, E. F., 1995: Mission to planet Earth—Role of clouds and radiation in climate. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 76, 2125–2153.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Second Edition. Academic Press. 2006. 627 pp.
- WOLTER, K.; TIMLIN, M.S. **Measuring the strength of ENSO** – how does 1997/98 rank? *Weather*, v. 53, n. 9, p. 315-324, 1998.
- WYRTKI, K., 1975: El Niño—The Dynamic Response of the Equatorial Pacific Ocean to Atmospheric Forcing. **J. Phys. Oceanogr.**, 5, 572–584. Doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1975\)005<0572:ENTDRO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1975)005<0572:ENTDRO>2.0.CO;2). Acessado em 22 de maio de 2012 as 09:00 horas.