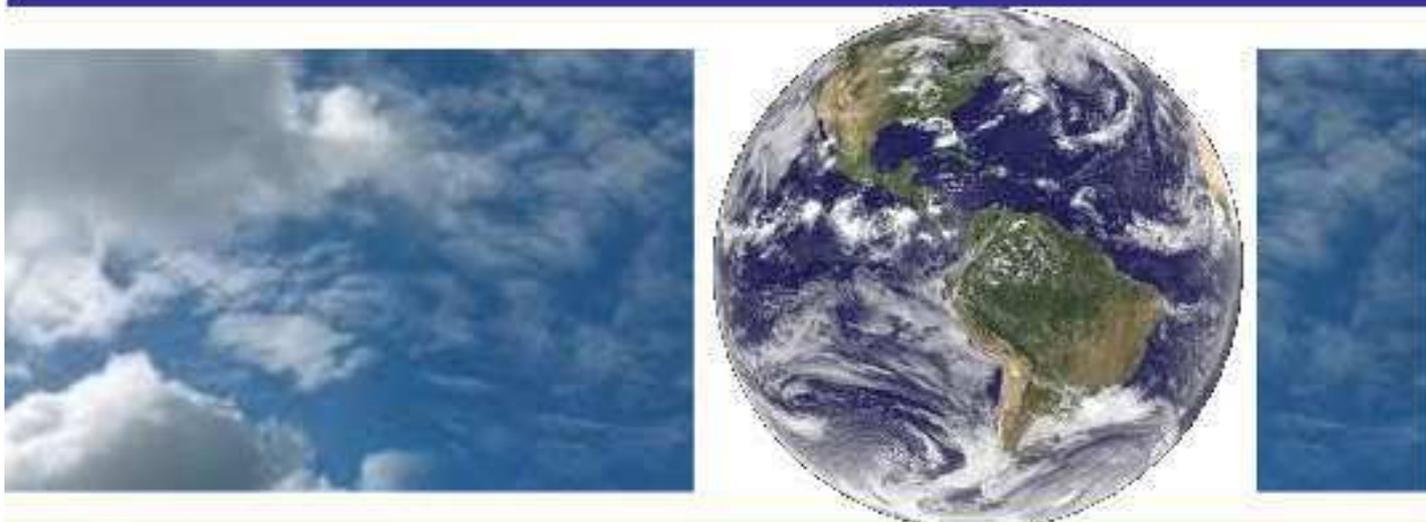


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Exedito Ronald Gomes Rebello**

**AS MAIORES CHEIAS e SECAS NO AMAZONAS E AS POSSÍVEIS  
INFLUÊNCIAS DOS FENÔMENOS EL NIÑO, LA NIÑA, ODP e OMA.**

**Campina Grande, novembro de 2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**EXPEDITO RONALD GOMES REBELLO**

**AS MAIORES CHEIAS e SECAS NO AMAZONAS E AS POSSÍVEIS  
INFLUÊNCIAS DOS FENÔMENOS EL NIÑO, LA NIÑA, ODP e OMA**

**Novembro 2013**

**Campina Grande - PB**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

R291m      Rebello, Expedito Ronald.  
As maiores secas e cheias no Amazonas e as possíveis influências dos fenômenos El Niño, La Niña, ODP e OMA / Expedito Ronald Rebello. – Campina Grande, 2013.  
57 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

"Orientação: Prof. Dr. Manoel Francisco Gomes Filho".  
Referências.

1. Amazônia. 2. El Niño. 3. La Niña. 4. ODP. 5. OMA. I. Gomes Filho, Manuel Francisco. II. Título.

CDU 551.55(811)(043)

EXPEDITO RONALD GOMES REBELLO

AS MAIORES “CHEIAS” E “SECAS” NO AMAZONAS E AS POSSÍVEIS  
INFLUÊNCIAS DOS FENÔMENOS “EL NIÑO” “LA NIÑA”, “ODP” e “OMA”

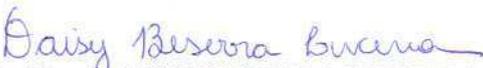
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/11/2013

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Profa. Dra. DAISY BESERRA LUCENA  
Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido  
Universidade Federal de Campina Grande

**EXPEDITO RONALD GOMES REBELLO**

**AS MAIORES CHEIAS e SECAS NO AMAZONAS E AS POSSÍVEIS INFLUÊNCIAS  
DOS FENÔMENOS EL NIÑO, LA NIÑA, ODP e OMA**

Dissertação de Mestrado “AS MAIORES CHEIAS e SECAS NO AMAZONAS E AS POSSÍVEIS INFLUÊNCIAS DOS FENÔMENOS EL NIÑO, LA NIÑA, ODP e OMA” apresentada como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG em parceria com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

**Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala**

**Sub-área: Climatologia Dinâmica**

**Orientador: Prof. Dr. Manoel Francisco Gomes Filho**

**Novembro 2013**

**Campina Grande - PB**

Aos meus Pais (In memoriam): Francisco  
Juarez de Amorim Rebello e Alda Natalina  
Gomes Rebello.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET por ter me proporcionado a realizar o curso de Pós-Graduação em nível de mestrado, convênio UFCG-INMET.

A minha esposa Teresinha Nunes de Araújo Rebello, por estar sempre ao meu lado me incentivando, apoiando e me dando sempre uma palavra de conforto em todos os momentos de minha vida e por ter tido paciência em alguns momentos difíceis destacaminhada;

A todos os meus familiares;

A Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande - PB, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Meteorologia, nível de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Emerson Mariano da Universidade Estadual do Ceará pela minha indicação para a realização do mestrado em meteorologia na UFCG.

Aos membros da banca examinadora da qualificação pelas valiosas sugestões para a melhoria desta dissertação;

Ao Prof. Dr. Manoel Francisco Gomes Filho, pela sua dedicação, apoio e amizade, na orientação no desenvolvimento desta dissertação de mestrado;

Ao Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti por coordenar o processo de defesa da dissertação e participar da banca examinadora.

Ao Dr. Fábio Cunha Conde por participar da banca examinadora de qualificação para a defesa da dissertação de mestrado.

A Profa. Dra. Daisy Beserra Lucena por participar da banca examinadora e a revisão da dissertação de mestrado.

A diplomata Cláudia Assaf pela ajuda e colaboração na revisão do resumo e abstract.

A Divanete Rocha da Cruz, secretária da Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, pela dedicação e sempre disposta a colaborar;

Aos meteorologistas Wagner de Aragão Bezerra, Nadir Dantas de Sales, Raimunda Barroso de Almeida, Kléber Ataíde, Manoel Rangel de Farias Neto... do INMET, pela colaboração e apoio.

A todos os professores e funcionários do curso de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, pelos ensinamentos e incentivo recebidos;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização desta dissertação de mestrado.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é associar as configurações geradas pelos fenômenos acoplados oceano-atmosfera como o El Niño, La Niña, Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), que podem influenciar os sistemas atmosféricos que produzem as condições climáticas na escala regional e relacionar esses fenômenos com as CHEIAS e SECAS extraordinárias que ocorreram na Amazônia ocidental, o estudo é inédito pois além de analisar os fenômenos acoplados interanuais (El Niño e La Niña) e as oscilações decadais (ODP e OMA), apresenta uma compreensão maior das dez maiores CHEIAS e SECAS extraordinárias ocorridas na Amazônia ocidental, incluindo as mais recentes: CHEIAS (2009 e 2012) e as SECAS (2005 e 2010). Observou-se que variações nas chuvas e nas vazões dos rios na Amazônia ocidental, apresentam uma variabilidade interanual e em escalas de tempo interdecadal, que são mais importantes do que as tendências de aumento ou redução do nível dos rios. E essa variabilidade está associada a padrões de variação da mesma escala de tempo nos oceanos Pacífico tropical e Atlântico tropical, como a variabilidade interanual associada a El Niño - Oscilação Sul, ou a variabilidade decadal do Pacífico e do Atlântico. Os resultados são interessantes pelo fato de que em parte, discordar de outros trabalhos já publicados. A maioria das CHEIAS extraordinárias ocorreu 80% em anos de La Niña e 20% em anos de El Niño, 80% dos casos com a ODP negativa, 20% com a ODP positiva, 70% OMA negativa e 30%, com OMA positiva. As três (3) maiores CHEIAS extraordinárias do rio Negro foram em anos estava OMA positiva, que foram nos anos de 1953, 2009 e 2012. As SECAS ocorrem em sua maioria com a ocorrência de eventos El Niños 60% e La Niña 30% e 10% em ano neutro. Enquanto, 60% com ODP positiva, 40% ODP negativa, 50% com OMA positiva, 50% com OMA negativa. Nota-se a influência dos fenômenos interanuais e decadais na ocorrência de CHEIAS e SECAS extraordinárias na Amazônia ocidental.

Palavras-chave: Amazônia. El Niño. La Niña. ODP. OMA.

## ***ABSTRACT***

The aim of this study is to associate the impacts generated by the coupled ocean-atmosphere phenomena such as El Niño, La Niña, the Pacific Decadal Oscillation (PDO) and the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), which can influence the atmospheric systems responsible for producing regional-scale weather conditions, and to relate these phenomena with the severe FLOODS and DROUGHTS which have stricken western Amazon. This is an original research because not only does it analyze the interannual coupled phenomena (El Niño and La Niña) and the decadal oscillations (PDO and AMO), but also presents a better understanding of the ten most severe FLOODS and DROUGHTS registered in western Amazon, including the most recent ones: the 2009 and 2012 FLOODS; and the 2005 and 2010 DROUGHTS. It was observed that variations in rainfall and river flows in western Amazon show an interannual variability and interdecadal time frame that are more important than the trends of the increase or the decrease of rivers' water level. This variability is associated with patterns of variation in the same time scale in the tropical Pacific and tropical Atlantic oceans, as well as with the interannual variability associated with El Niño – Southern Oscillation – or the decadal variability of the Pacific and the Atlantic. The results are interesting because they are partially contrary to other studies already published. Most severe FLOODS, 80% of them, occurred in La Niña years, and 20% in El Niño years; 80% of cases with negative PDO, 20% with positive PDO, 70% with negative AMO and 30% with positive AMO. The three major severe FLOODS in Negro River were in years with positive AMO, 1953, 2009 and 2012. Most of the DROUGHTS, 60% of them, were registered with the occurrence of El Niños, 30% in years of La Niña and 10% in neutral year; 60% with positive PDO, 40% with negative PDO, 50% with positive AMO and 50% with negative AMO. It is observed the influence of interannual and decadal phenomena in the occurrence of severe FLOODS and DROUGHTS in western Amazon.

**Keywords:** Amazon. El Niño. La Niña. PDO. AMO.

## SUMÁRIO

	Página
Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	ix/x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista Siglas e Abreviaturas.....	xii/xiii
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativas.....	5
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	8
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	8
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 El Niño.....	9
2.2 La Niña.....	11
2.3 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).....	14
2.4 Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).....	16
2.4.1 Periodicidade e previsão de mudanças da OMA.....	18
2.4.2 Caracterização dos anos de CHEIAS e SECAS extraordinárias.....	21
2.4.2.1 Análise da Cheia de 2009.....	21
2.4.2.2 Análise da Cheia de 2012.....	22
2.4.2.3 Análise da Seca de 2005.....	24
2.4.2.4 Análise da Seca de 2010.....	28
2.4.2.5 Intensidade dos eventos de CHEIAS e SECAS.....	30
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>36</b>

4 As maiores CHEIAS e SECAS.....	41
5 Área e período de estudo.....	42
<b>6 DADOS E METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
6.1 Previsão de SECAS e CHEIAS extraordinárias na Amazônia.....	47
6.1.1 Previsão de SECAS extraordinárias.....	47
6.1.2 Previsão de CHEIAS extraordinárias.....	50
<b>7 RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>8 CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
8.1 Sugestões para trabalhos Futuros.....	54
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Frequência de Ocorrência de Picos das CHEIAS	1
Figura 2 - Imagem de satélite da cidade de Manaus e o porto onde são realizadas as medições do nível do rio Negro	2
Figura 3 - Oscilação Decadal do Pacífico - ODP (fase positiva e negativa)	4
Figura 4 - Imagem da Oscilação Decadal do pacífico (ODP) negativa	4
Figura 5 - As quatro maiores CHEIAS do rio Negro, no porto de Manaus	5
Figura 6 – Imagem mostrando o El Niño (dezembro de 1997)	10
Figura 7- Anomalias de TSM e La Niña 2011–outubro 2011 e águas mais frias no oceano Atlântico tropical	13
Figura 8 - Índices de OMA (fases Positiva e Negativa) desde 1880	16
Figura 9 - Índices de Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) – 1885 até 2009	18
Figura 10 - CHEIAS e SECAS no Porto de Manaus desde 1903	20
Figura 11 – Desvio de Precipitação normalizada (SPI) janeiro- fevereiro – março/2009	20
Figura 12 – Mapa médio de anomalias de precipitação de janeiro a março/ 2012	21
Figura 13 - Distribuição das chuvas no Amazonas (Manaus, Barcelos e S. G. da Cachoeira)	22
Figura 14 – Esquema da circulação de Hadley) e o mapa da Amazônia com o Índice de Precipitação Padrão – junho – julho – agosto/ 2005	23
Figura 15 – Índice de precipitação padronizada (SPI) abril – maio - junho/2005	24
Figura 16 - Índice de precipitação padronizada (SPI) maio – junho - julho/2005	25
Figura 17 - Índice de precipitação padronizada (SPI) agosto – setembro - outubro/2005	26
Figura 18 - Fotos da SECA de 2005 na Amazônia	30

Figura 19 - Índice de Precipitação Padronizada (SPI) junho – julho - agosto/ 2010	31
Figura. 20 - Índice de Precipitação Padronizada (SPI) julho – agosto - setembro/2010	32
Figura 21 - Índice de Precipitação Padronizada (SPI ) agosto – setembro -outubro/2010	33
Figura 22 (A, B, C e D) - Comparação entre as SECAS de 2005 e 2010	34
Figura 23 - Série temporal do índice da ODP	35
Figura 24 - Gráfico ODP de 1900 a 2008 e projeção para até 2035	36
Figura 25 - Índices Multivariados do ENSO	37
Figura 26 - Anomalias normalizadas de chuva para o norte (A) e para o sul (B) da Amazônia desde 1929 a 1997	38
Figura 27 - Modelo de Previsão de SECAS e Incêndios na Amazônia	48
Figura 28 – Previsão estatística do nível do rio Negro para 10 dias	49
Figura 29 - Previsão estatística do nível do rio Tapajós para 10 dias	49

**LISTA DE TABELAS**

	Página
TABELA 1 - ODP e ocorrências de El Niño e La Niña	12
TABELA 2 – Histórico das CHEIAS dos Rios Negro/Solimões em Manaus	45
TABELA 3 - Histórico das SECAS dos Rios Negro/Solimões em Manaus	45

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CDC – *Climatic Data Center*

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Desastres

CLIVAR – *Climate Variability and Predictability*

CIRES – *Cooperative Institute for Research in Environment Sciences*

COLA – *Center Ocean Land and Atmosphere*

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

COSMO – *Consortium for Small Scale Modelling*

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

ENOS – El Niño – Oscilação Sul

ESRL – *Earth System Research Laboratory*

GFS – *Global Forecast System*

HADLEY CENTER – Centro de Pesquisas Climáticas da Inglaterra

IME – Índice Multivariado do El Niño

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

JAXA – *Japan Aerospace Exploration Agency*

JISAO – *Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean*

NEB – Nordeste Brasileiro

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

SPI – *Standard Precipitation Index*

SUDAM – Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

MCWD – Déficit Hídrico Climatológico Máximo da Superfície

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

ODP – Oscilação Decadal do Pacífico

OMA – Oscilação Multidecadal do Atlântico

PTGRRD – Programa Temático de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres

TOPEX - POSEIDON –Satélite Americano – francês (*NASA/CNES*)

TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission* Americano – francês (*NASA/CNES*)

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UFPA – Universidade Federal do Pará

WMO – *World Meteorological Organization*

## 1 INTRODUÇÃO

Os rios Negro e Solimões, que cortam o estado do Amazonas, são os únicos rios no mundo que sofrem com as CHEIAS e SECAS (Vazantes) de grandes proporções, sendo um fenômeno natural que ocorre em maior ou menor magnitude, devido à precipitação pluvial em toda a bacia Amazônica. Como exemplo dos contrastes desse fenômeno natural, podemos citar o registro da maior CHEIA, em 2012, atingindo a marca de 29,97 metros e da segunda pior vazante, em 2010, com a marca de 13,63 metros (CPRM, 2010; CPRM, 2012). Esses fenômenos que são interanuais vêm se intensificando a cada ano e seus meses de ocorrência de picos máximos e sua frequência vem mudando, como por exemplo, a CHEIA de 2012 teve seu pico máximo em maio de 2012 (Figura 1) e não no final de junho e início de julho como vinha ocorrendo normalmente (CPRM, 2012),

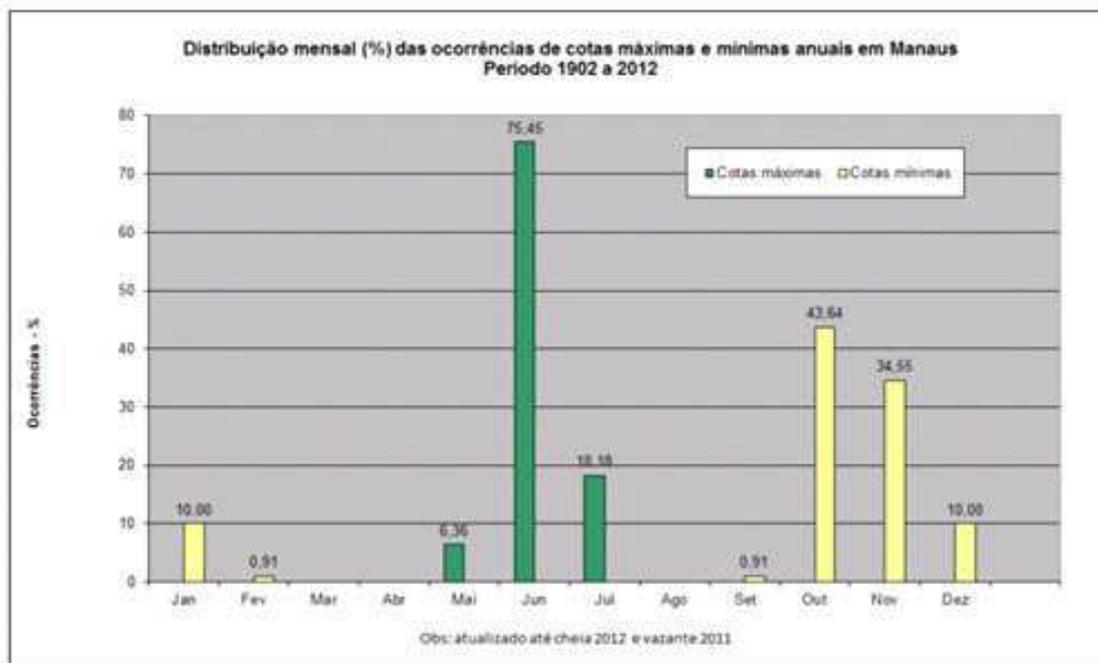


Figura 1 – Frequência de ocorrência de picos das CHEIAS

Fonte: CPRM (2012)

Esse fenômeno atrai olhares turísticos, porém, para os ribeirinhos que vivem à margem dos rios ou mesmo para o comércio local que recebe e enviam mercadorias através deles, acompanhar diariamente a evolução dos rios Negro e Solimões pode ser, muitas vezes, uma questão de sobrevivência (Figura 2).



Figura 2 – Imagem de satélite da cidade de Manaus e o porto onde são realizadas as medições do nível do rio Negro

Fonte: <http://earthobservatory.nasa.gov/>

Os primeiros estudos das variações interdecadais foram com relação à produção de salmão no Alaska com alternância de regimes de baixa produção (1940 e início do ano 1950) e alta produção na metade dos anos 70, conforme (MANTUA et al., 1997).

Na década de 90 a pesquisa da variação interdecadal era focalizada somente em estudos para os oceanos, principalmente porque a variabilidade oceânica é um processo mais lento e a característica interdecadal é mais evidente: secas e chuvas intensas (inundações) de verão na China tinham sido estudados por (WANG; ZHAO, 1979; WANG et al., 1981; WANG, 1990). Estudos mais recentes vieram caracterizar as fases quentes e frias no oceano Pacífico norte como Oscilação Decadal do Pacífico – ODP Figura 02. Naturalmente, a Oscilação Decadal do Pacífico e seu impacto no clima transformaram-se em parte importante do programa internacional *CLIVAR* (estudo e previsibilidade climática) (WMO et al., 1995).

Em 1998, imagens do satélite francês-americano *Topex-Poseidon* mostravam áreas no Pacífico norte com anomalias de temperaturas positivas e negativas, alternadas entre suas sub-bacia leste e oeste. Por outro lado, desde então, foram iniciados estudos para tentar achar uma correlação desse fenômeno com variações da precipitação a nível decadal no Brasil (REBELLO, 1999).

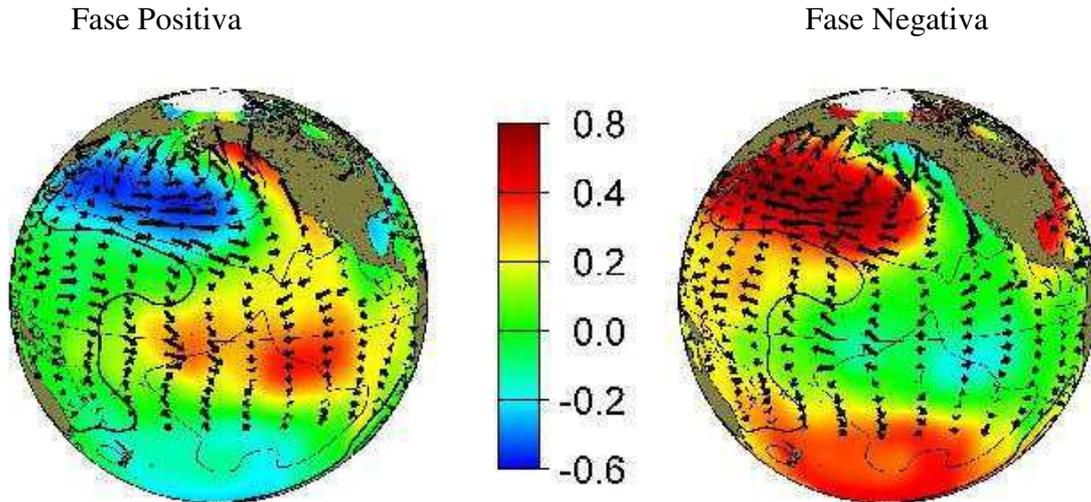


Figura 3 – Oscilação Decadal do Pacífico - ODP (fase positiva e negativa)

Fonte: *JISAO* (2007).

(EASTERBROOK, 2008), utilizando imagem disponibilizada pela *NASA*, adaptada de *JPL-NASA*, mostrou que a fase negativa da ODP, ou seja, período de 20 a 30 anos, tinha se iniciado (Figura 4).

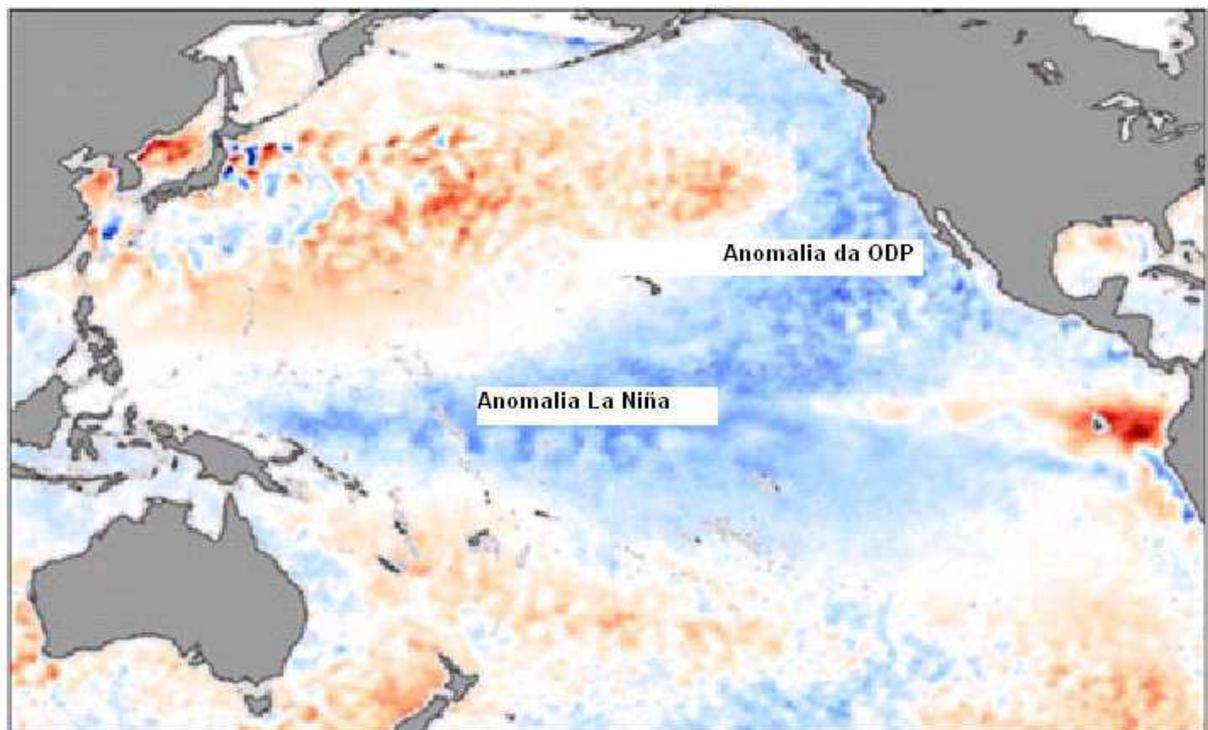


Figura 4- Imagem da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) negativa

Fonte: *EASTERBROOK* (2008).

## 1.1. JUSTIFICATIVAS

As CHEIAS e SECAS que ocorrem todos os anos na Amazônia principalmente no rio Amazonas e seus afluentes como o rio Negro, Solimões, rio Acre, Madeira e outros no período (fevereiro a julho - CHEIAS) e de (setembro a novembro - SECAS) tem um grande impacto, na vida urbana e dos ribeirinhos que moram as margens dos rios, além de danos ambientais e prejuízos econômicos incalculáveis, além de sérios problemas para a Defesa Civil nacional e estadual. O fenômeno da CHEIA do sistema Negro/Solimões/Amazonas, é medido desde 1902 no porto de Manaus (Figura 5).

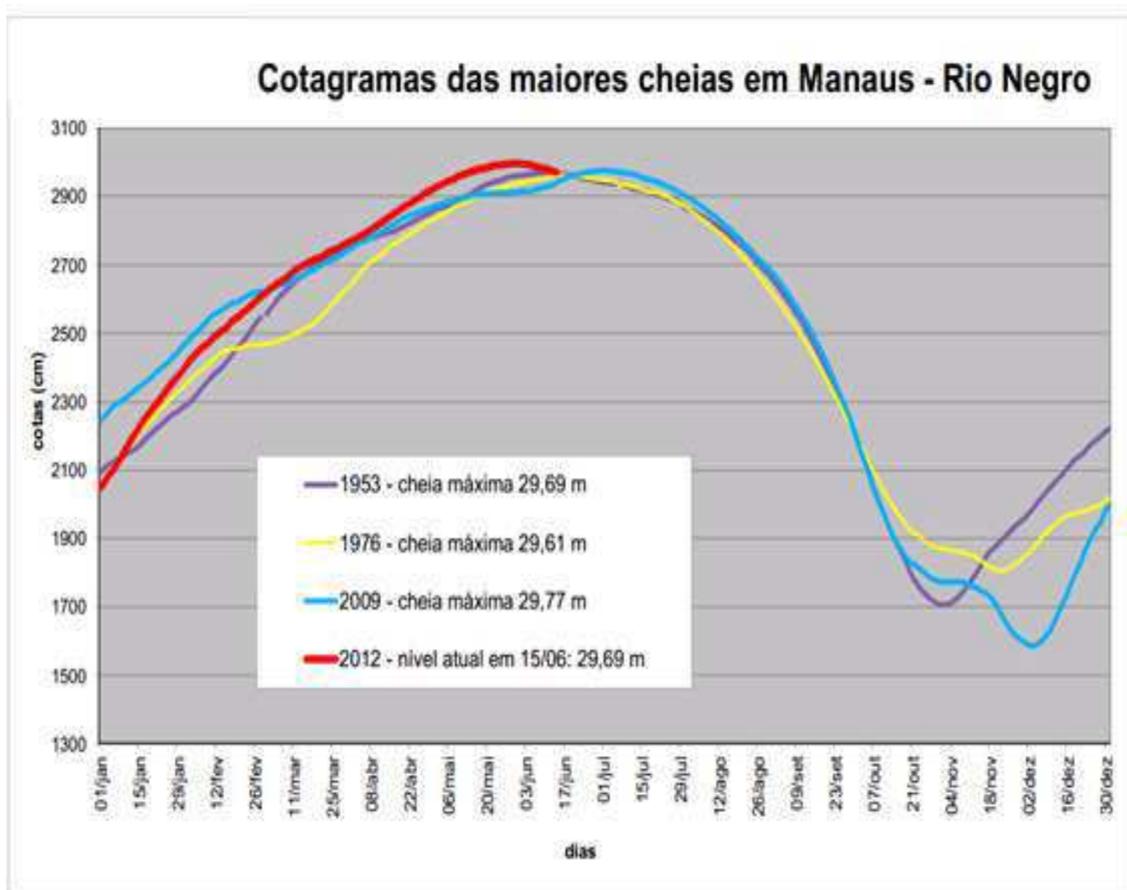


Figura 5 - As quatro maiores CHEIAS do rio Negro, no porto de Manaus

Fonte: CPRM (2012)

Referente ao ano hidrológico 2008/2009, foi concluído pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), no dia 01/07/2009 e alcançou a cota máxima histórica registrada nos 107 anos de monitoramento, cujo valor atingiu 29,77 metros. Foram 244 dias no processo de enchente, o que equivale a aproximadamente 67% do ano civil. Foi a cheia recorde desde 1903, com 107 anos de retorno, tendo causado inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais em várias cidades da Amazônia e à população da cidade de Manaus.

As cheias que ocorrem na orla de Manaus e seu entorno são devidas, em sua maior parte, às contribuições do Rio Solimões e dos seus afluentes da margem direita e em menor grau, aos tributários da margem esquerda. São cheias que apresentam um longo tempo de percurso, devido ao gigantesco tamanho da bacia hidrográfica e a pequena declividade observada nos leitos dos seus principais corpos d'águas. Isto facilita a sua previsibilidade com vários dias de antecedência. A frequência de cheias de magnitudes consideradas potencialmente danosas, que se situa em torno de onze anos, pode ser creditada também, a vastidão da bacia hidrográfica e a sua pequena declividade. O tempo médio de subida das águas é de cerca de sete/oito meses conforme relatório das CHEIAS da (CPRM, 2010).

Em outros anos, a Amazônia, apresenta reduções significativas nos totais pluviométricos na estação chuvosa, provocando SECAS regionais, como as ocorridas nos anos de 1906, 1912, 1916, 1926, 1936, 1963, 1958, 1997, 1998, 2005 e 2010, que pode ter uma relação além da ocorrência dos fenômenos El Niño, La Niña, ODP e OMA as temperaturas das águas do oceano Atlântico norte, aparentemente tem um papel importante na ocorrência de SECAS na Amazônia, principalmente a mais estudada como foi a de 2005 (NEVES, 1995; LEWIS et al., 2011).

A necessidade de desenvolvimento de medidas estruturantes como, por exemplo: sistemas de monitoramento acoplados de modelos preditivos para a prevenção, preparação e resposta são de fundamental importância para minimização do impacto de tais eventos. Para complementar tais medidas, a criação de mecanismos legais para reordenamento da ocupação e respectiva fiscalização, além de investimentos em infra-estrutura para a prevenção se somam a tais medidas.

Por último, a necessidade de uma articulação sólida entre os entes da Federação (União, Estado e Município) para dar respostas a estas frequentes perdas constitui-se como base para implantação de um programa nacional para a gestão de riscos e resposta a desastres.

No primeiro semestre do ano de 2011, foi criado no âmbito do Plano Plurianual (2012-2015) o Programa Temático de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres (PTGRRD) com o objetivo de ampliá-lo o conhecimento público sobre os riscos inerente aos fenômenos das cheias, inundações, secas, etc., o desenvolvimento de mapas de susceptibilidade, mapas de áreas vulneráveis, definição de diretrizes para a ocupação segura e monitoramento dos riscos. Os objetivos estruturantes e estruturais articulados nas distintas esferas e ciências que a gestão de risco exige que se configurem um primeiro passo para o tratamento de tais questões, que de fato, precisam em muito serem desenvolvidas.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise das CHEIAS extraordinárias que ocorreram no sistema Rio Negro/Solimões, no porto de Manaus e se relacionar com eventos El Niño, La Niña, ODP e OMA, a pesquisa meteorológica vem buscando respostas para esses fenômenos por isso nessa dissertação buscam-se uma resposta das possíveis relações (CHEIAS e SECAS) com fenômenos que ocorrem nos oceanos Pacífico norte e tropical e Atlântico norte como El Niño, La Niña, ODP e OMA.

### **1.2.2 Objetivo Específico**

O objetivo específico foi estudar as duas maiores CHEIAS extraordinárias que ocorreram em 2009 e 2012 e as duas SECAS extraordinárias de 2005 e 2010, correlacionar com os fenômenos acoplados oceano-atmosfera interanuais: El Niño e La Niña e decadais: ODP e OMA.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 El Niño

O fenômeno acoplado oceano-atmosfera El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do oceano Pacífico equatorial. A palavra El Niño é derivada do espanhol, e refere-se à presença de águas quentes que todos os anos aparecem na costa norte de Peru na época de Natal. Os pescadores do Peru e Equador chamaram a esta presença de águas mais quentes de corrente do El Niño em referência ao Niño Jesus ou Menino Jesus. Na atualidade, as anomalias do sistema climático que são mundialmente conhecidas como El Niño e La Niña representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no oceano Pacífico tropical, e que tem conseqüências no tempo e no clima em todo o planeta descrito por SILVA, (2009). Nesta definição, considera-se não somente a presença das águas quentes da corrente El Niño, mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e, portanto variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de temperatura.

A situação observada em dezembro de 1997, no pico máximo do fenômeno El Niño de 1997/98. Talvez a melhor maneira de se referir ao fenômeno El Niño seja pelo uso da terminologia mais técnica, que inclui as características oceânicas atmosféricas, associadas ao aquecimento anormal do oceano Pacífico equatorial Figura 6.

O ENOS ou El Niño-Oscilação Sul representa de forma mais genérica um fenômeno de interação oceano-atmosfera, associado a alterações dos padrões normais da temperatura da superfície do mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico equatorial, entre a costa Peruana e no Pacífico equatorial oeste próximo à Austrália.

Além de índices baseados nos valores da temperatura da superfície do mar no oceano Pacífico equatorial, o fenômeno ENOS pode ser também quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico central (Taiti) e o oeste (Darwin-Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, conseqüência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos e positivos do

IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña respectivamente. Em geral, episódios El Niños (Tabela 1 - *NOAA/CDC*) têm frequência média de 2 a 7 anos.

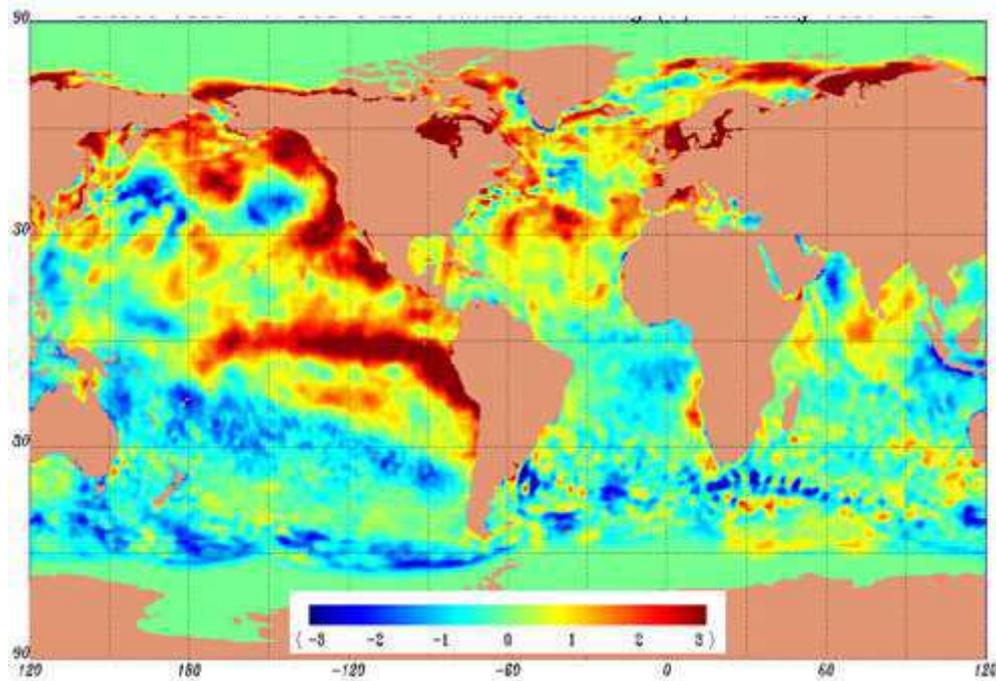


Figura 6 – Imagem mostrando o El Niño - dezembro de 1997

Fonte: [http://www.public.navy.mil/fltfor/cnmoc/Pages/fnmoc\\_home.aspx](http://www.public.navy.mil/fltfor/cnmoc/Pages/fnmoc_home.aspx)

## 2.2 La Niña

O termo La Niña ("a menina", em espanhol) se caracteriza por ser oposto ao El Niño. Pode ser chamado também de episódio frio, ou ainda El Viejo ("o velho", em espanhol). Algumas pessoas chamam o La Niña de anti-El Niño, porém como El Niño se refere ao menino Jesus, anti-El Niño seria então o diabo e, portanto, esse termo é pouco utilizado. O termo mais utilizado hoje é: La Niña (Figura 7).

Com os ventos mais intensos, maior quantidade de água vai se acumular no lado oposto por causa do aumento na velocidade dos ventos alísios. Com isso, o desnível entre um lado e outro do Pacífico também vai aumentar. Com os ventos mais intensos a ressurgência também irá aumentar no Pacífico equatorial oriental, e, portanto virão mais nutrientes das profundezas para a superfície do oceano, ou seja, aumenta a chamada ressurgência no lado leste do Pacífico equatorial. Por outro lado, devido à maior intensidade dos ventos alísios as águas mais quentes irão ficar represadas mais a oeste do que o normal e, portanto novamente teríamos: águas mais quente geram evaporação e conseqüentemente movimentos ascendentes, que por sua vez geram nuvens de chuva e que geram a célula de Walker, que em anos de La Niña fica mais alongada que o normal.

A região com grande quantidade de chuvas é o nordeste do oceano Índico a oeste do oceano Pacífico passando pela Indonésia, e a região com movimentos descendentes da célula de Walker é no Pacífico equatorial central e oriental.

É importante ressaltar que tais movimentos descendentes da célula de Walker no Pacífico equatorial oriental ficam mais intensos que o normal o que inibe, e muito, a formação de nuvens de chuva.

Em geral, episódios La Niñas também têm frequência de 2 a 7 anos (SILVA, 2009), todavia tem ocorrido mais eventos La Niñas (7) do que El Niños (3) (Tabela 1) durante as últimas décadas.

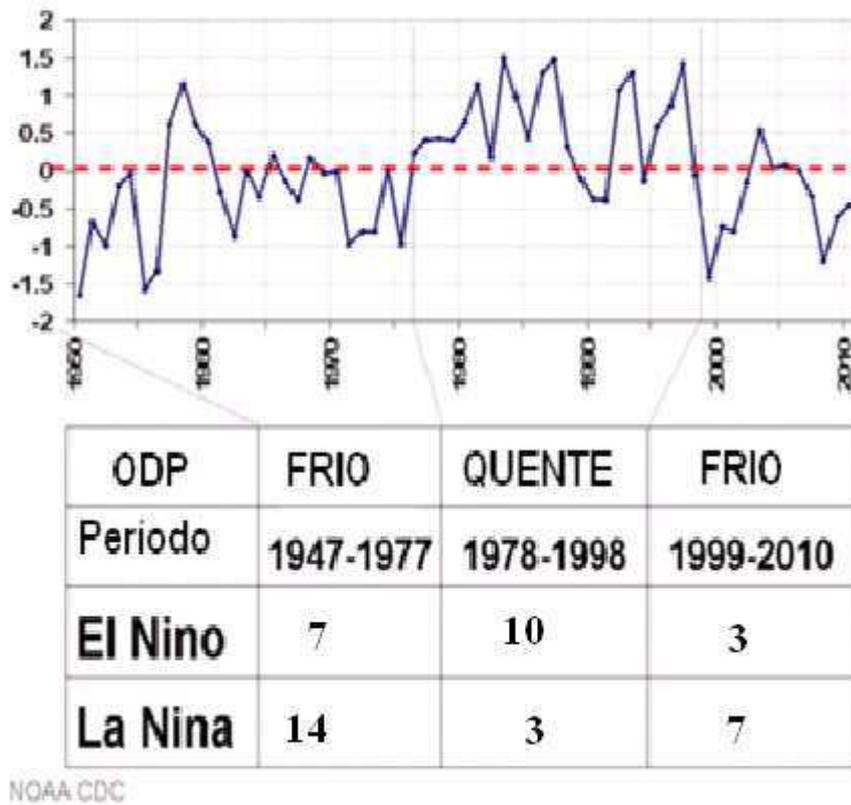


Tabela 1- ODP positivo e negativo e ocorrências de El Niño e La Niña

Fonte: NOAA/CDC

Outro ponto interessante é que os valores das anomalias de temperatura da superfície do mar em anos de La Niña têm desvios menores que em anos de El Niño, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 5,5°C acima da média em alguns anos de El Niño, em anos de La Niña as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média Figura 7.

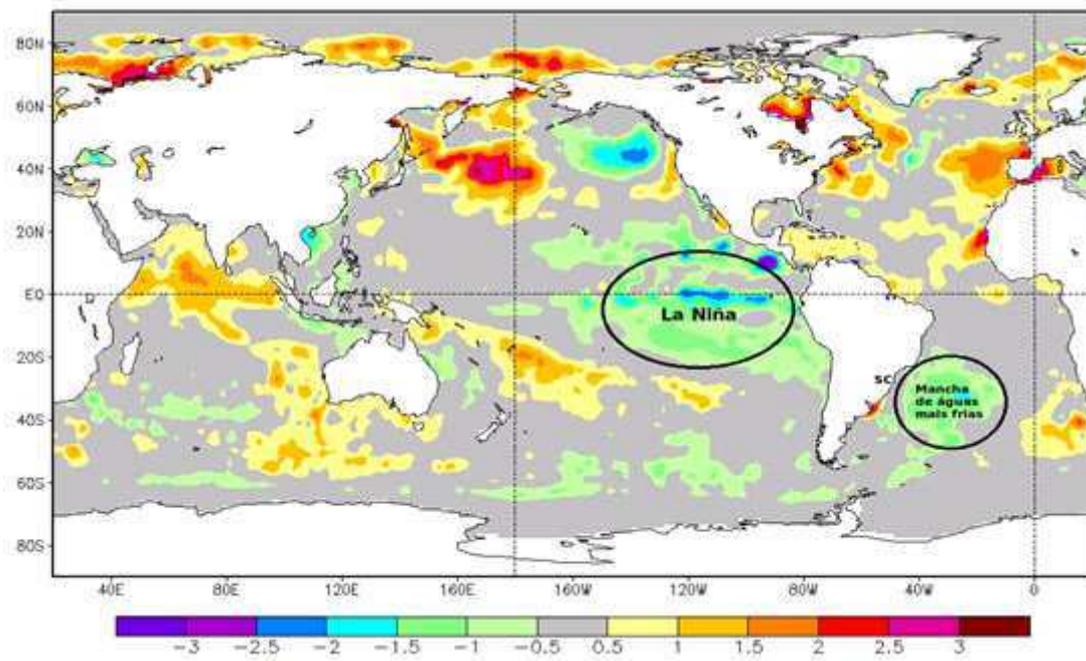


Figura 7 – Anomalias de TSM e La Niña 2011 e anomalias de TSM - outubro 2011 e águas mais fria no oceano Atlântico tropical

Fonte: NCEP/CPC/NOAA [www.cpc.noaa.gov](http://www.cpc.noaa.gov)

### 2.3 Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)

O nome Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) foi dado pelo biólogo Steve Hare da Universidade de Washington em 1996 (MANTUA et al., 1997), descreveram a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), é definida como uma oscilação das temperaturas superficiais semelhante ao ENOS, com duas fases, quente e fria, porém de longa duração, entre 20 e 30 anos cada fase. A fase fria (negativa) ocorreu entre 1947 e 1976 e a fase quente (positiva) entre 1977 e 1998.

A ODP caracteriza-se por uma tendência do comportamento da temperatura das águas do Pacífico norte.

Oscilação Decadal do Pacífico ODP (+) => tendência de maior número de episódios de El Niños bem intensos. Menor número de La Niñas e que são menos intensas.

Oscilação Decadal do Pacífico ODP (-) => maior número de episódios de La Niñas que tendem a ser mais intensas. Menor frequência de El Niños que tendem a ser curtos e rápidos.

Quando a região tropical do oceano Pacífico se encontra com uma anormalidade positiva de temperatura da superfície do mar (TSM) e simultaneamente fora dos trópicos se tem anomalia negativa, é dito que estamos numa fase quente da ODP. Para a fase fria é observado um uma anomalia de TSM negativa na região dos trópicos do oceano Pacífico e anomalia de TSM positiva fora dos trópicos.

Como o oceano Pacífico ocupa um terço da superfície terrestre e a atmosfera é aquecida por debaixo, a ODP deve apresentar sinais detectáveis no clima global. Nesse contexto (OLIVEIRA et al., 2005) mostraram que existe uma coincidência entre as fases da ODP e a variabilidade da temperatura média global.

Em geral, os eventos ENOS persistem por cerca de 6 a 18 meses, enquanto os eventos de ODP duram cerca de 20 a 30 anos. Como o ENOS, a ODP apresenta duas fases. A fase fria (negativa) e a fase quente (positiva) são caracterizadas por anomalias negativas (positivas) de TSM no Pacífico equatorial e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas (negativas) no Pacífico extratropical em ambos os hemisférios (SIQUEIRA; MACHADO, 2004).

As análises das configurações da TSM no oceano Pacífico, e a análise dos índices da ODP em 1998/99, indicam que o fenômeno entrou em sua nova fase fria, estima-se que ela perdure por mais 15 a 20 anos, semelhante ao que ocorreu na fase fria anterior (SOUSA et al., 2010).

As causas da ODP ainda não são conhecidas, porém seus impactos no clima têm sido objeto da pesquisa atual e o posicionamento dos centros das altas pressões subtropicais, do oceano Atlântico apresentou deslocamento latitudinal e longitudinal distintos, com relação as suas posições médias, durante as duas fases da ODP. Durante a fase quente (fria), os centros das altas subtropicais se aproximaram (afastaram) do Equador.

(SOUSA et al., 2008), analisando dados diários de precipitação de 1941 a 2004 na usina Cruangi em Timbaúba, costa leste do NEB concluiu que esta região sofre grande influencia da ODP, onde ficou claro uma redução nos totais anuais, mensais, desvio padrão anual, no período e até nos dias chuvosos durante a fase fria em relação à fase quente da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

O raciocínio lógico conduz a uma hipótese de um trabalho considerando que a atmosfera é aquecida por baixo, os oceanos constituem a condição de contorno inferior mais importante para os processos atmosféricos e sua interação com o clima, como o Pacífico ocupa um terço da superfície terrestre, a ODP deve ter uma influência preponderante, portanto, detectável, na variabilidade climática de baixa frequência (SOUSA et al, 2008).

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) ganhou força como uma hipótese alternativa como a causa do aquecimento do século passado, ou pelo menos uma boa parte dela. Entretanto, essa hipótese é baseada na aparente correlação visual entre períodos de aquecimento e a fase positiva da ODP, porque não sabemos se as fases positivas e negativas vão se repetir como no passado. A primeira coisa a notar é que a ODP, como qualquer outra oscilação decadal que regula o clima da Terra, não pode ser a causa de qualquer tendência de longo prazo. O calor pode apenas ser movido por meio de diferentes partes do sistema, podendo mesmo estar oculto por algum tempo, mas depois de um ciclo completo, estará de volta (fase positiva e negativa). Em outras palavras, uma oscilação não cria nem retém o calor e não pode ter ambos uma interação oceano-atmosfera levar a tendência de aquecimento de longo prazo.

## 2.4 Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA)

A Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) é definida como uma variabilidade que ocorre no oceano Atlântico norte e que tem sua principal expressão na temperatura da superfície do mar (TSM) (Figura 8). Embora haja algum apoio para esta modalidade em modelos e observações históricas, existe controvérsia em relação à sua amplitude e, em particular, a atribuição de temperatura da superfície do mar, o que pode ser considerado como uma variabilidade de causas naturais ou antropogênicas, especialmente em áreas tropicais do Atlântico importante para o desenvolvimento de furacões. A Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) foi identificada por (SCHLESINGER; RAMANKUTTY, 1994).

### Índices Mensais da Oscilação Decadal do Atlântico (OMA)

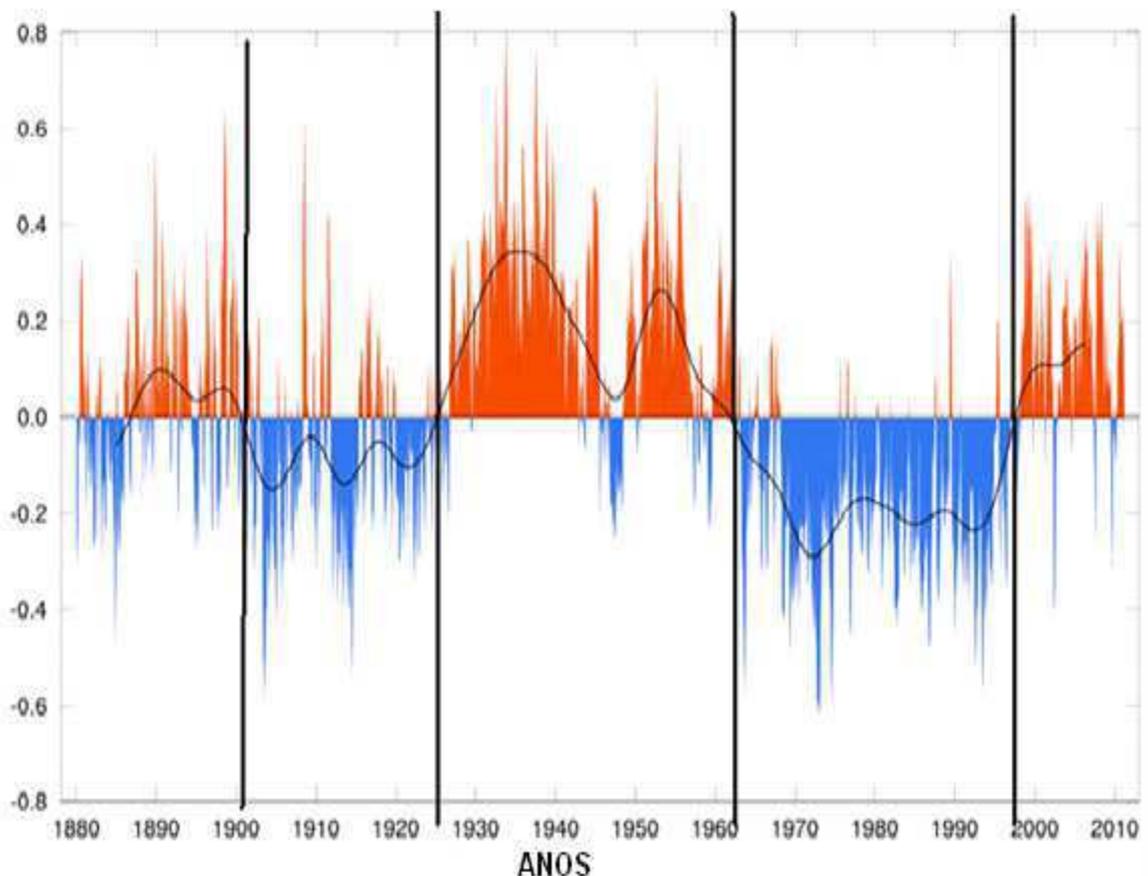


Figura 8 - Índices de OMA (fases positiva e negativa) desde 1880

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic\\_multidecadal\\_oscillation](http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation)

O sinal da OMA é geralmente definido a partir dos padrões de variabilidade da TSM no Atlântico norte, uma vez que qualquer tendência linear é removida. Esta tendência se destina a eliminar a influência do gás de efeito estufa induzida por aquecimento global da análise. No entanto, se o sinal de aquecimento global é significativamente não linear com o tempo (isto é, não apenas um aumento suave e linear). Conseqüentemente, correlações com o índices de OMA podem trazer efeitos do possível aquecimento global.

O índice OMA está correlacionado com a temperatura do ar e chuvas em grande parte do Hemisfério Norte, em particular, América do Norte e Europa, Nordeste brasileiro e precipitação no *Sahel* e da América do Norte e clima do verão europeu (KNIGHT, 2006).

Também está associada com mudanças na frequência de secas norte-americanas que se reflete na frequência de Furacões no Atlântico norte (GOLDENBERG et al., 2001).

Uma pesquisa recente sugere que a OMA está relacionado com a ocorrência prévia de grandes secas no centro-oeste e do sudoeste dos EUA. Quando a OMA está em sua fase quente, as secas tendem a ser mais frequente ou prolongada. Duas das secas mais severas do século 20 ocorreram durante a OMA positiva entre 1925 e 1965 (MCCABE; BENTANCOURT, 2004).

Na visualização dos dados reais em um horizonte de curto prazo, a experiência escassa sugere que a frequência de grandes furacões não é fortemente correlacionada com a OMA. Durante as fases quentes da OMA, o número de furacões menores (categorias 1 e 2) tem um aumento modesto. Com uma análise completa da meteorologia, o número de tempestades tropicais que podem formar furacões é muito maior durante as fases quentes da OMA do que durante as fases frias, pelo menos o dobro, a OMA, em média se reflete na frequência de furacões do Atlântico norte, com base na duração típica de fases negativa e positiva da OMA, o regime de águas mais quente no Atlântico norte deve persistir pelo menos até 2025/2030, se persistir a fase quente da OMA.

---

### 2.4.1 Periodicidade e previsão de mudanças da OMA

Há apenas cerca de 130-150 anos de dados com base em dados de instrumentos, que são muito poucas com amostras convencionais e técnicas abordagens estatísticas, com o auxílio de reconstrução de séries para um período mais longo de 424 anos. Não há uma previsão confiável para quando a OMA irá mudar de sinal. Os modelos numéricos e estatísticos utilizados em computadores, tais como aqueles que prevêem El Niño, estão longe de ser capaz de fazer isso (ENFIELD et al., 2001),

A probabilidade de que uma mudança na OMA irá ocorrer dentro de um período determinado de tempo futuro, assumindo que a variabilidade histórica persiste. A probabilidade de ocorrer podem ser úteis para o planejamento em longo prazo em aplicações sensíveis ao clima, como a gestão da água (ENFIELD et al., 2001).

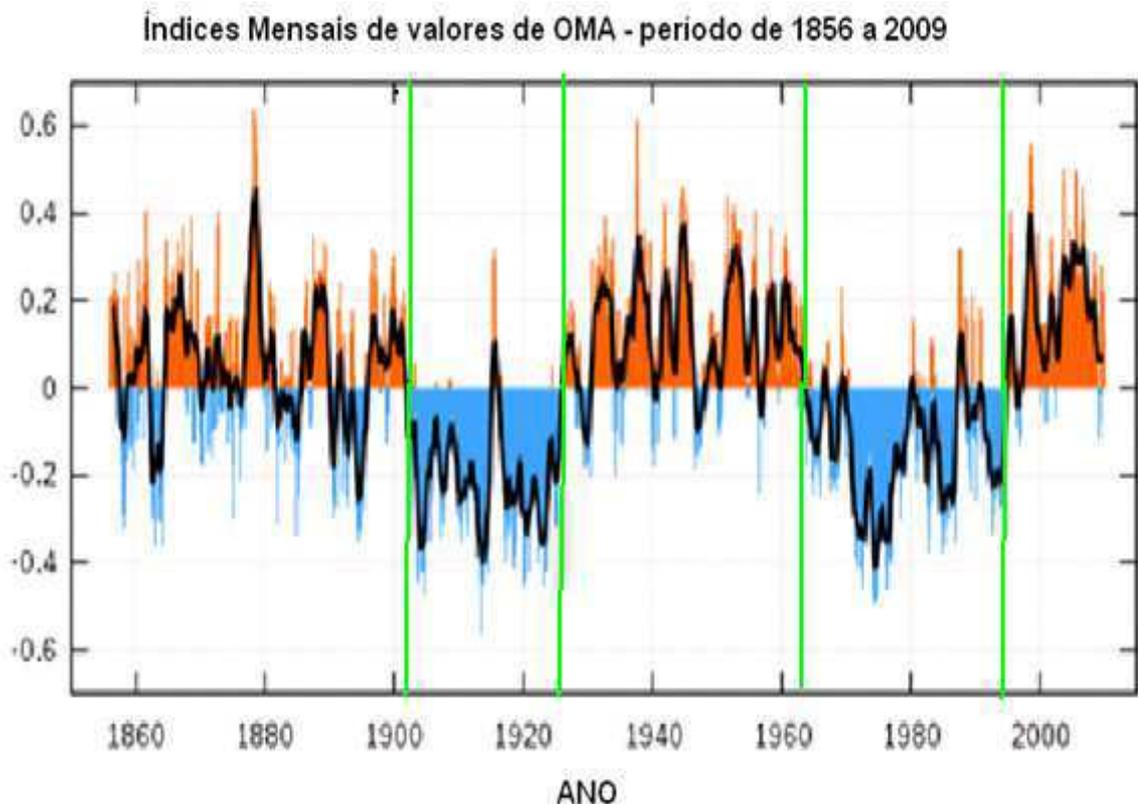


Figura 9 - Índices de Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) até 2009

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic\\_multidecadal\\_oscillation](http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation)

---

Além de mostrar que as bacias dos rios Negro/Solimões, rios Acre e Madeira têm graves períodos de SECA, com vazantes que afetam a população. Em 2009 tivemos a maior CHEIA dos últimos 107 anos, com o nível do rio Negro atingindo a cota de nós teria lembrado de 29,77 metros o que fez com que se estabeleceu um novo recorde que não acontecia desde 1953. Em 2012 no mês de maio o rio Negro bateu novo recorde de 29,97 metros no dia 29. Em outros anos, a Amazônia, apresenta reduções significativas nos totais de precipitação na estação chuvosa, provocando "secas regionais", como as que ocorreram nos anos de 1906, 1912, 1916, 1926, 1936, 1958, 1963, 1997, 1998, 2005 e 2010 (Figura 10).

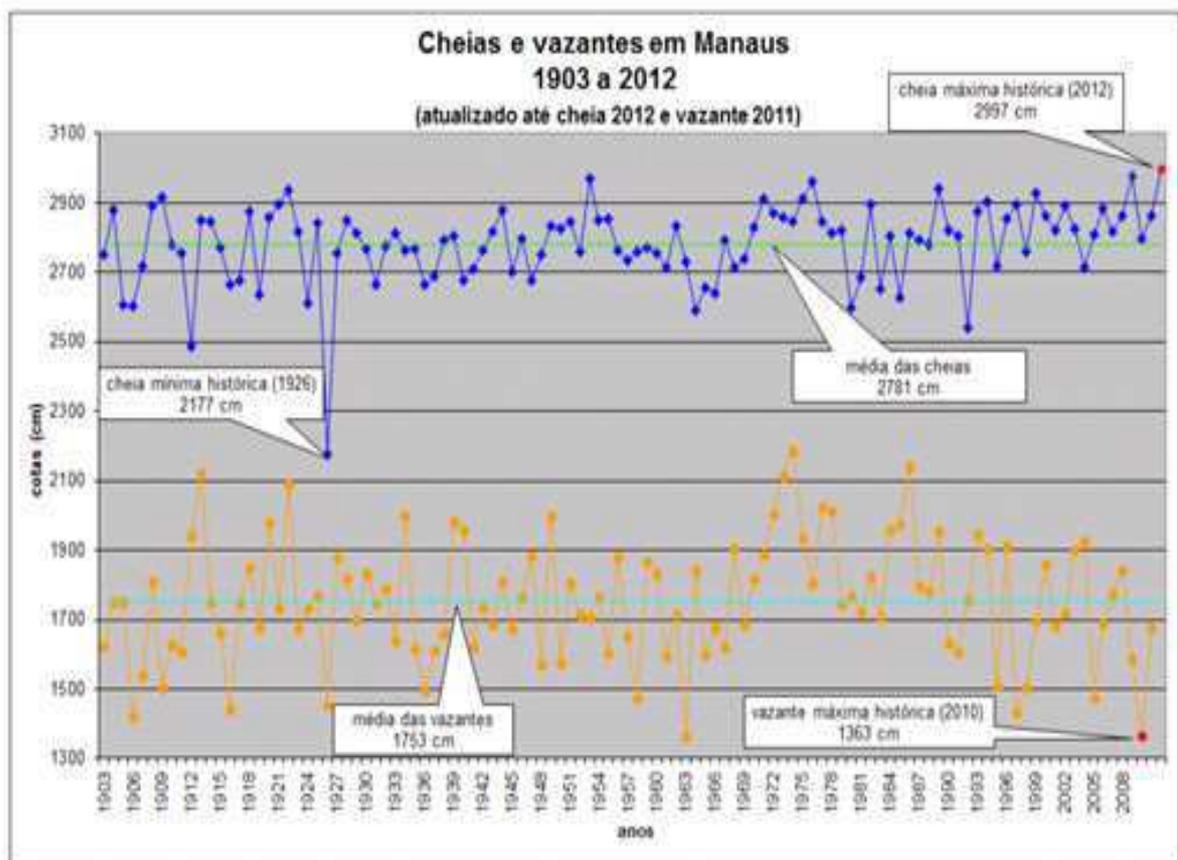


Figura 10 - CHEIAS e SECAS no Porto de Manaus desde 1903.

Fonte: CPRM (2012)

## 2.4.2 Caracterização dos anos de CHEIAS e SECAS extraordinárias

### 2.4.2.1 Análise da Cheia de 2009

O fenômeno da CHEIA do sistema Negro/Solimões/Amazonas, nas proximidades de Manaus, referente ao ano hidrológico 2008/2009, foi concluído pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), no dia 01/07/2009 e alcançou a cota máxima histórica registrada nos 107 anos de monitoramento, cujo valor atingiu 29,77 metros. Foram 244 dias no processo de enchente, o que equivale a aproximadamente 67% do ano civil (Figura 11).

Foi a cheia recorde desde 1903 até 2009, com 107 anos de retorno, tendo causado inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais á população da cidade de Manaus.

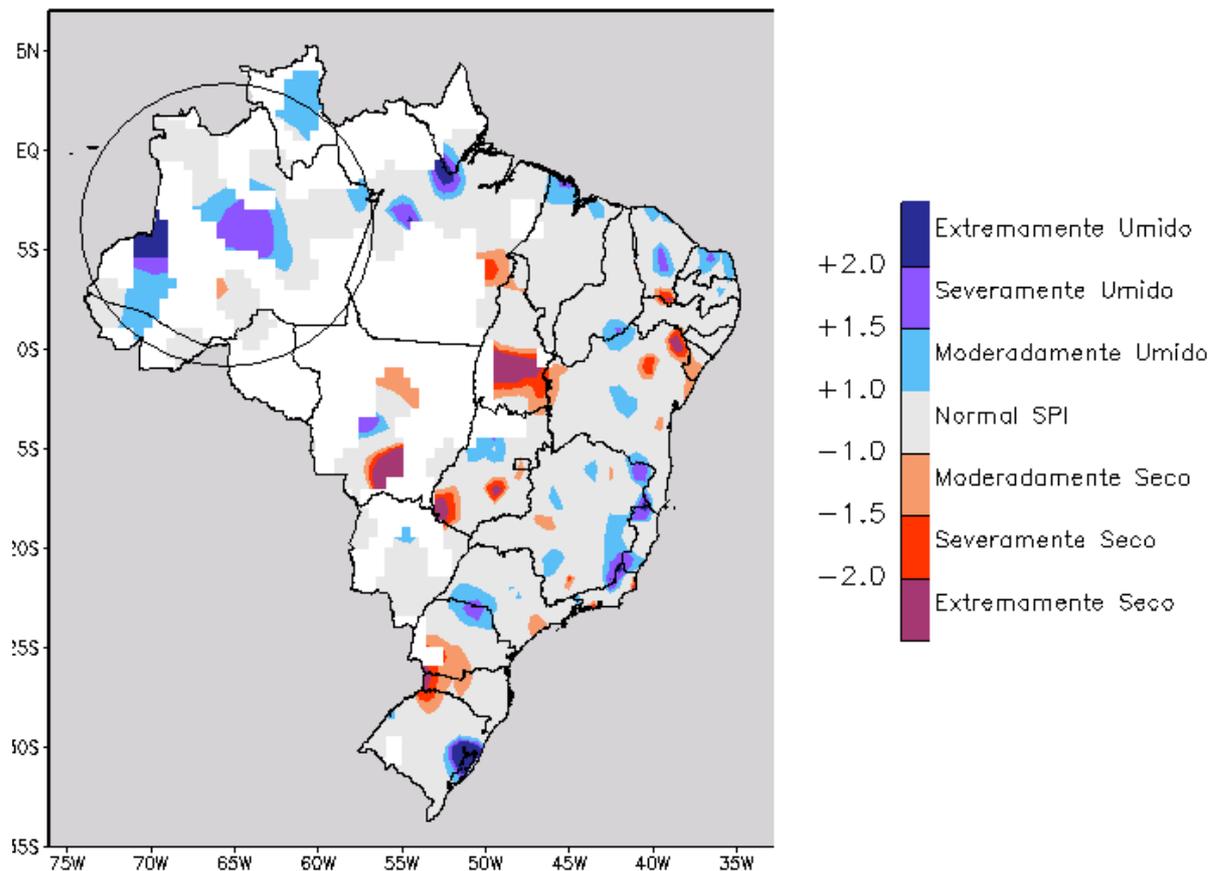


Figura 11 – Desvio de Precipitação normalizada janeiro-fevereiro-março/2009.

Fonte: INMET

### 2.4.2.2 Análise da Cheia de 2012

Os resultados obtidos a partir dos boletins encaminhados e outras informações presentes na base de dados do CENAD mostram que a TSM (Temperatura da Superfície do Mar) fria do oceano Atlântico sul, adjacente à costa do Nordeste do Brasil, causou um impacto positivo na precipitação com chuvas intermitentes e contínuas, nas regiões Norte do Brasil, Peru e Colômbia, um fenômeno raro que associado ao fenômeno acoplado oceano-atmosfera La Niña teve uma grande influência na precipitação acima do normal na região Norte e chuvas abaixo do normal em grande parte da região Nordeste (figura 10).

Vale ressaltar que as anomalias negativas da TSM do oceano Atlântico sul na costa da região Nordeste permaneceu até março de 2012, esse fenômeno de TSM negativas no Atlântico Sul que vem ocorrendo desde outubro de 2011.

Analisando os mapas de anomalias de precipitação dos modelos disponibilizados pelo GFS - *Global Forecasting System* (Figura 12) nota-se chuvas abaixo da média histórica principalmente na região do semiárido do Nordeste e chuvas muito acima da média na região Amazônica com isso poderão ocorrer uma SECA histórica no Nordeste semelhante a outras SECAS como as de 1932/1933, 1957/1958, 1982/1983 e 1997/1998, enquanto na região Amazônica poderá ter um recorde das CHEIAS do rio Amazonas em diversas localidades.

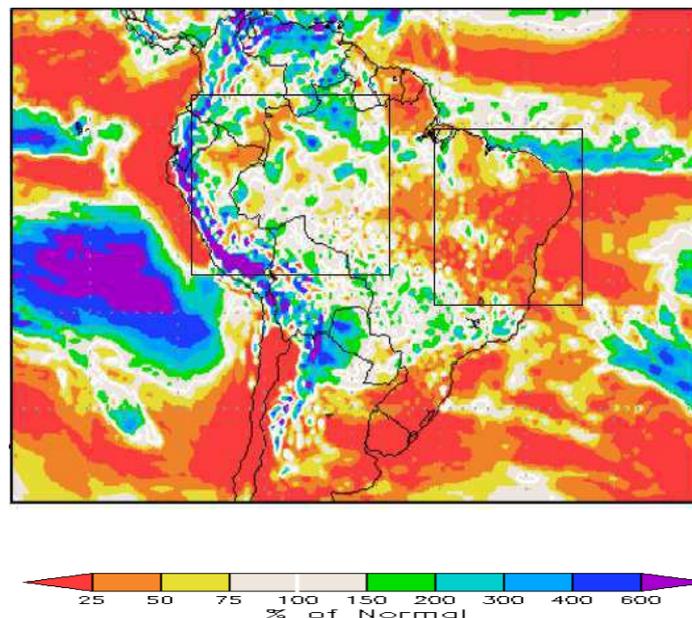


Figura 12 – Mapa médio de anomalias de precipitação de janeiro a março de 2012.

Fonte: *GFS/COLA/NOAA*

A precipitação intensa verificada no noroeste da Amazônia desde janeiro favoreceu o aumento do nível do rio Negro em Manaus (Figura 13), resultando na CHEIA recorde que o correu em maio de 2012 quando ultrapassou a cheia recorde de 2009, com 29,97 metros.

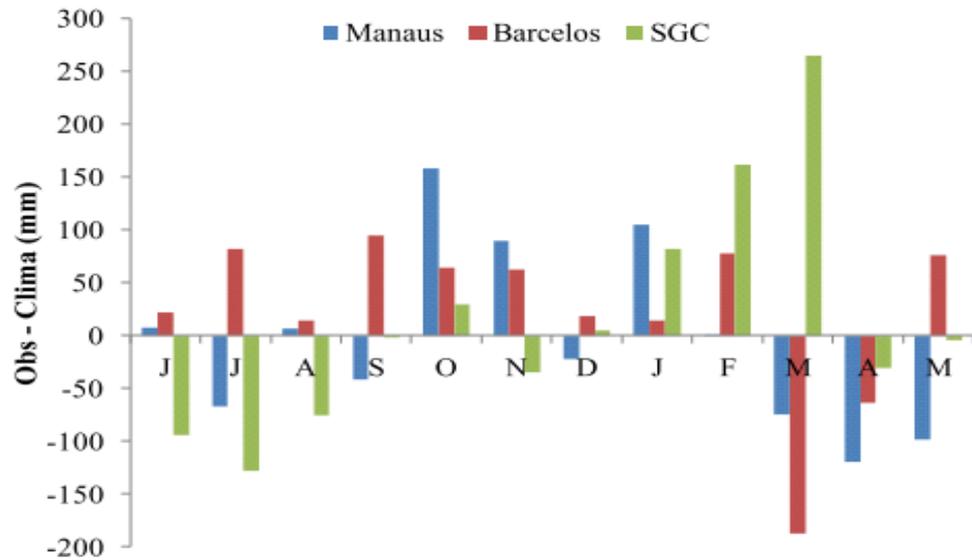


Figura 13- Distribuição das chuvas no Amazonas (Manaus, Barcelos e S.G. da Cachoeira).

Fonte: INMET

### 2.4.2.3 Análise da Seca de 2005

O movimento ascendente do ar que normalmente ocorre no Atlântico tropical norte, associado à célula de *Hadley* (Figura 14), ficou mais intenso em 2005, e conseqüentemente, esta intensificação da circulação atmosférica faz com que os movimentos descendentes especialmente sobre o sudoeste da Amazônia sejam mais intensos do que a média, o que dificulta a formação de nuvens e, portanto, de chuva na região, foram registrados índices pluviométricos muito abaixo normal climatológica de abril até outubro (Figuras 15, 16 e 17). Adicionalmente, há especulações de que o prolongado período de estiagem nestas regiões mais afetadas pode estar ocasionando um efeito local que, mais ainda, contribuiu para a diminuição das chuvas. Este efeito seria uma diminuição da reciclagem de vapor d'água pela vegetação devido à própria estiagem, implicando num *feedback* positivo reduzindo possivelmente as chuvas locais.

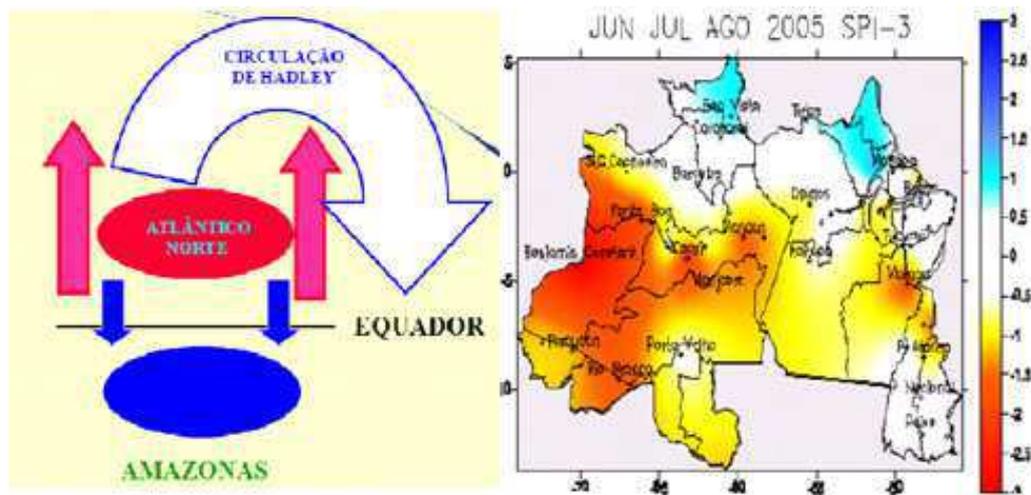


Figura 14 – Esquema da circulação de *Hadley* e o mapa da Amazônia com o Índice de Precipitação Padrão junho-julho-agosto/2005.

Fonte: CPTEC/INMET

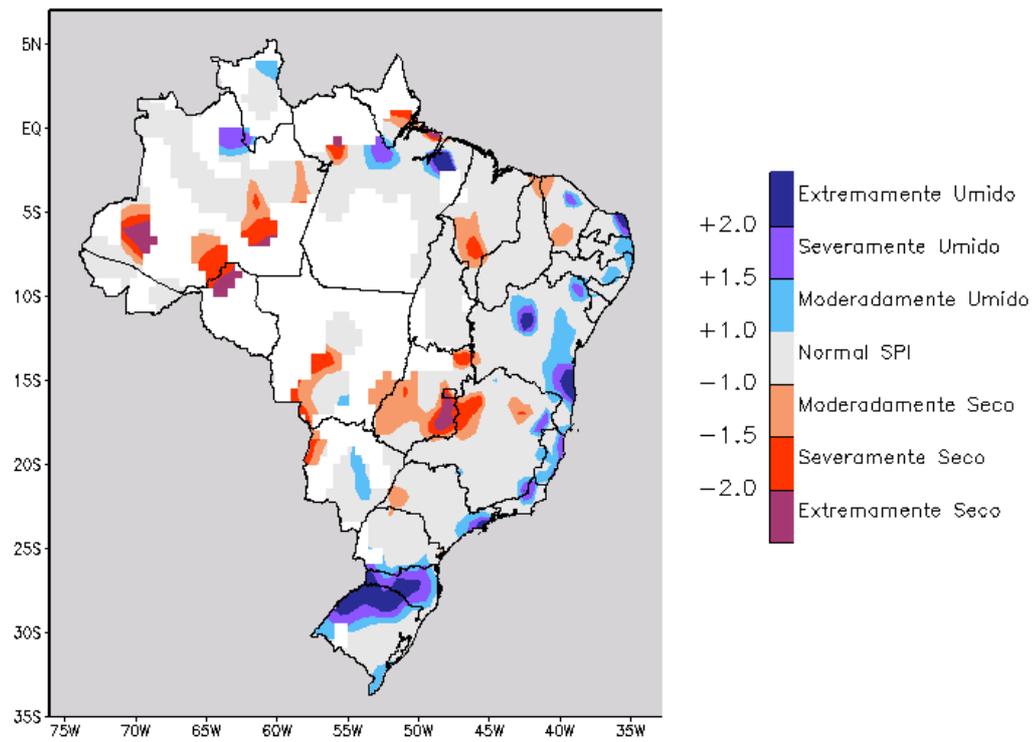


Figura 15 – Índice de precipitação padronizada (SPI) abril- maio-junho/2005.

Fonte: INMET

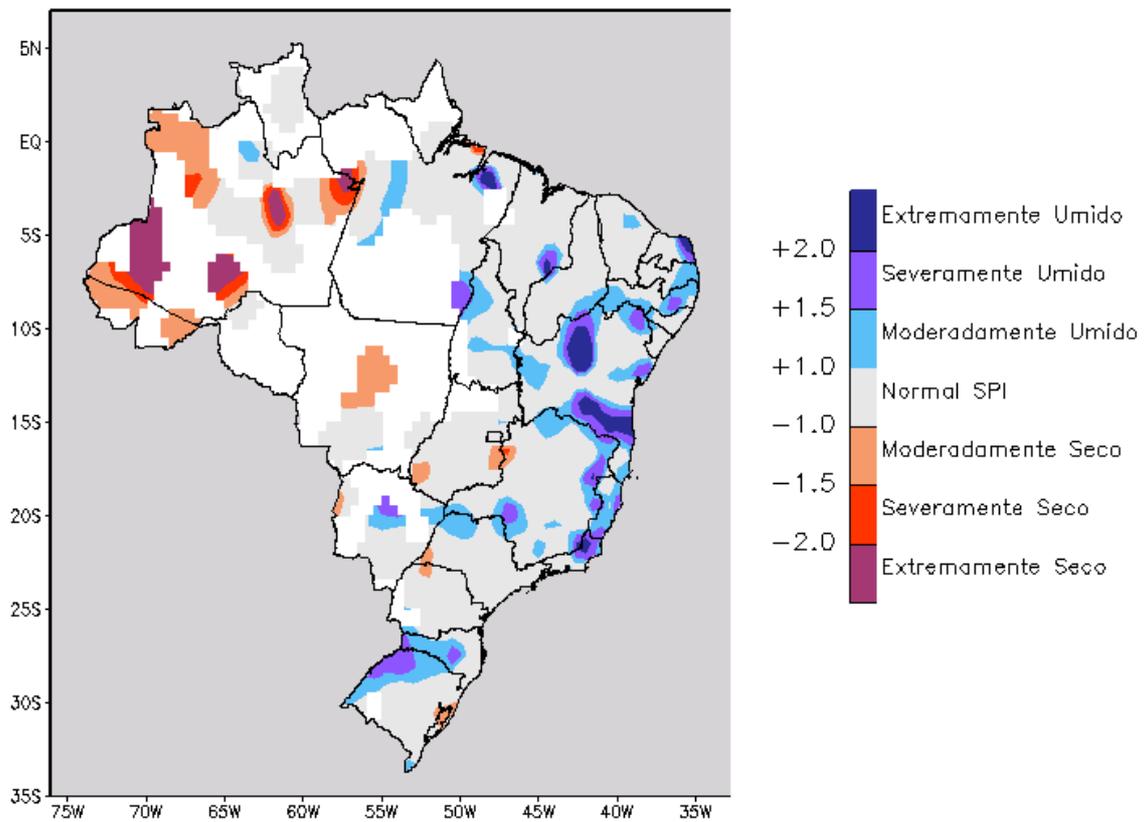


Figura 16 - Índice de precipitação padronizada (SPI) maio – junho - julho/2005.

Fonte: INMET

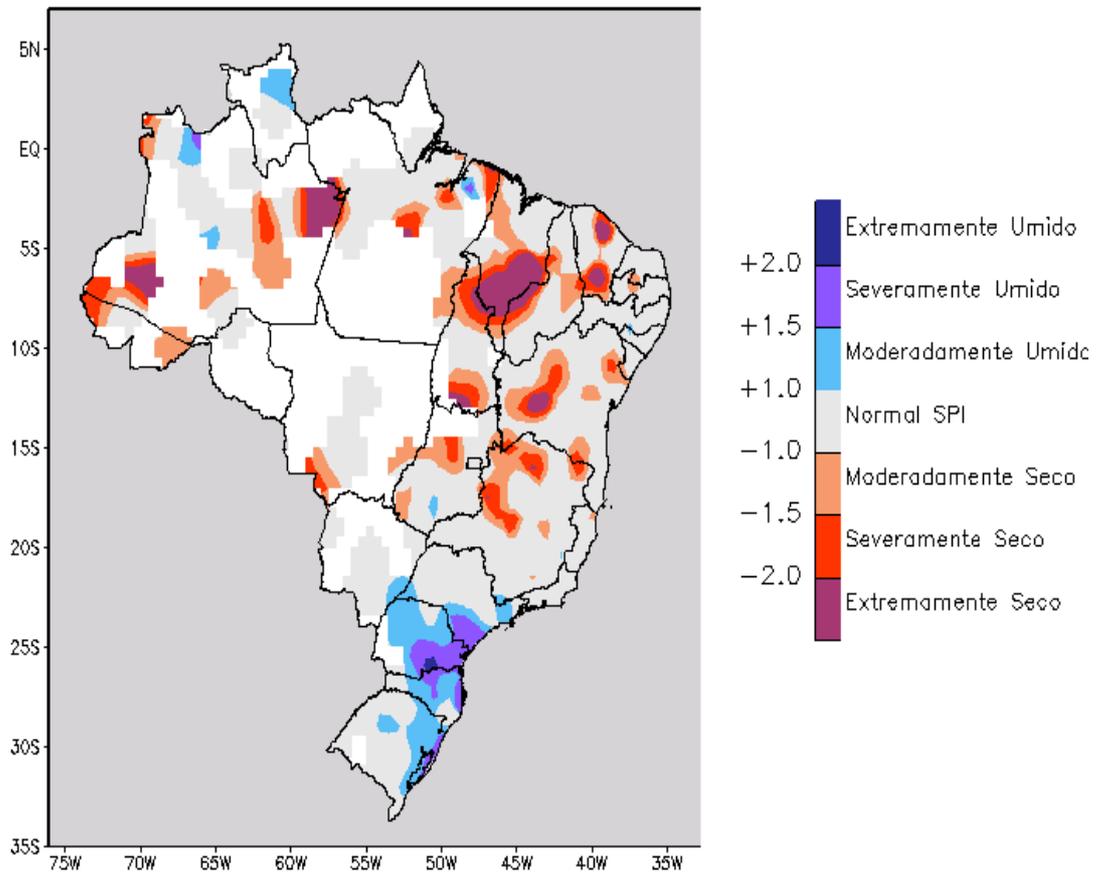


Figura 17- Índice de precipitação padronizada (SPI) agosto-setembro- outubro/2005.

Fonte: INMET

#### 2.4.2.4 Análise da Seca de 2010

A SECA que atingiu a Amazônia em 2010 foi a mais severa em 100 anos, segundo (LEWIS et al., 2011). Em 2005, uma grande seca já havia atingido a região e também foi considerada, à época, a maior em um século.

De acordo com o estudo de (LEWIS et al., 2011) publicado na revista científica *Science*, a SECA matou tantas árvores que agora a Amazônia contribuirá para o aquecimento global, em vez de combatê-lo. A conclusão obedece ao seguinte raciocínio: toda árvore é composta por CO<sub>2</sub> sequestrado da atmosfera e transformado em matéria orgânica. Quando morre devido à seca, normalmente porque não tem raízes profundas o suficiente para alcançar os lençóis freáticos, é decomposta por microorganismos que liberam os gases novamente no ar. Nos próximos anos, por culpa da seca de 2010, esse fenômeno superará a captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera pela floresta.

A ocorrência de dois eventos desta magnitude em um intervalo tão próximo é extremamente incomum, mas infelizmente é consistente com os modelos climáticos que projetam um futuro difícil para a Amazônia. Se eventos como este acontecerem com mais frequência, a floresta amazônica pode chegar ao ponto de inverter sua condição de valioso absorvedor de carbono e auxiliar no combate às mudanças climáticas para a de fonte importante de emissão de gases estufa, com potencial para acelerar o aquecimento global.

O cientista Antônio Donato Nobre, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vive e trabalha há 20 anos na floresta. Ele acredita que a Amazônia pode superar esta seca com um saldo positivo. A floresta tem mecanismos para restabelecer o equilíbrio de seu corpo, explica. “Cada espaço vazio deixado por uma árvore é ocupado pelas demais que crescem e, para isso, precisam acelerar sua captura de gás carbônico, rearranjando temporariamente as contas de suas emissões.

Quando passa por SECAS muito severas, a floresta tem ainda a capacidade de bombear umidade, pois ao contrário do que se esperam, as árvores liberam mais água, por meio da transpiração, em períodos de estiagem. Para se ter uma idéia, em períodos normais, 20 bilhões de toneladas de água são transpiradas por dia.

Pesquisadores conseguiram desvendar o fenômeno climático que desencadeou as SECAS de 2005 e 2010, na Amazônia. O resultado dos estudos foi publicado pelo cientista climático José Marengo, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na revista americana

*Geophysical Research Letters*. Seu artigo revela que a seca de 2010 foi a mais severa desde que as medições hidrológicas foram instaladas no rio Negro, em 1903.

Os períodos de estiagens intensos são atribuídos à confluência de dois fenômenos climáticos de rara ocorrência contínua. O primeiro foi um El Niño, que é o aquecimento das águas do oceano Pacífico Sul, o que intensifica as secas em várias regiões do Brasil. O fenômeno ocorreu entre dezembro e abril, justamente no período das chuvas na Amazônia, o que reduziu drasticamente o nível dos rios.

E depois, justamente durante a seca, houve um aquecimento das águas do oceano Atlântico acima da linha do Equador o que faz com que a umidade acumulada pela junção das correntes de ar que transitam pelo planeta permaneça no Hemisfério Norte, deixando a região da Amazônia ocidental muito mais seca.

#### **2.4.2.5 Intensidade dos eventos de CHEIAS e SECAS**

A diferença entre as duas tragédias é que a intensidade foi diferente. A primeira atingiu a região sul da Amazônia entre os rios Madeira e Solimões, a seca de 2010 foi mais intensa na Amazônia central e no leste da região (MARENGO et al., 2011).

Um segundo estudo do INPE mostra que o mesmo fenômeno que intensificou as secas foi responsável pelas chuvas de 2009. Mas as chuvas ocorreram por um fator contrário, ou seja, houve o aquecimento das águas do Atlântico abaixo da Linha do Equador, o que jogou a massa de ar que fica acumulada nessa região para a Amazônia e o Nordeste. O resultado foi às inundações e enxurradas que assolaram as populações dessas regiões (MARENGO et al. 2011).

Essa alternância de fenômenos climáticos na Amazônia já foi indicada nas modelagens feitas pelo *Hadley Center* - Instituto Inglês de Estudos Climáticos, onde há uma previsão de uma grande alternância de extremos climáticos para todo o Brasil, porém não podemos ainda afirmar nada sobre esses fenômenos serem uma confirmação de mudanças climáticas, porém são sinais que as modelagens podem estar certas.

Na bacia do rio Negro na estação Manaus, o nível d'água do dia 24/10/2010, atingiu 13,63 metros tornando-se a maior vazante registrada na série histórica de 108 anos, superando a vazante de 1963, cujo nível d'água havia atingido 13,64 metros (CPRM, 2012).

Enquanto em 2005 (Figura 18) a seca atingiu 37% da floresta, em 2010 esse número chegou a 57% (MARENGO, 2011).



Figura 18- Fotos da SECA de 2005 na Amazônia.

Fonte: CPRM

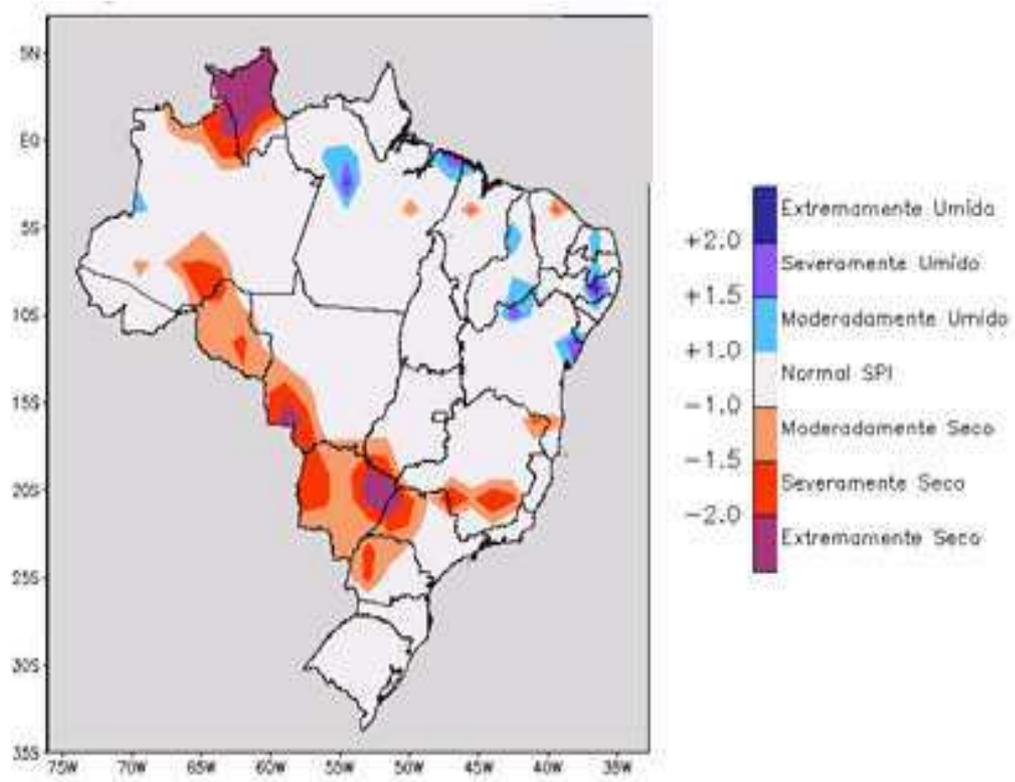


Figura 19 - Índice de Precipitação Padronizada (SPI) junho-julho-agosto/2010.

Fonte: INMET

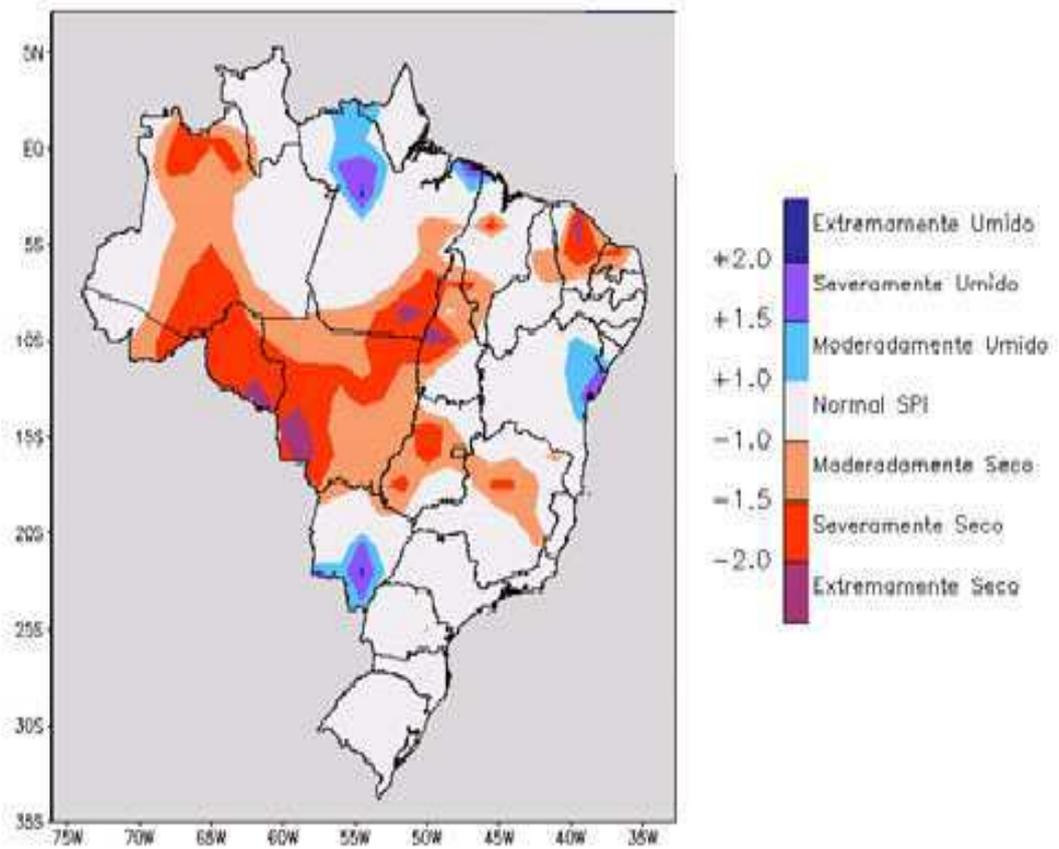


Figura 20- Índice de Precipitação Padronizada (SPI) julho-agosto-setembro/2010.

Fonte: INMET

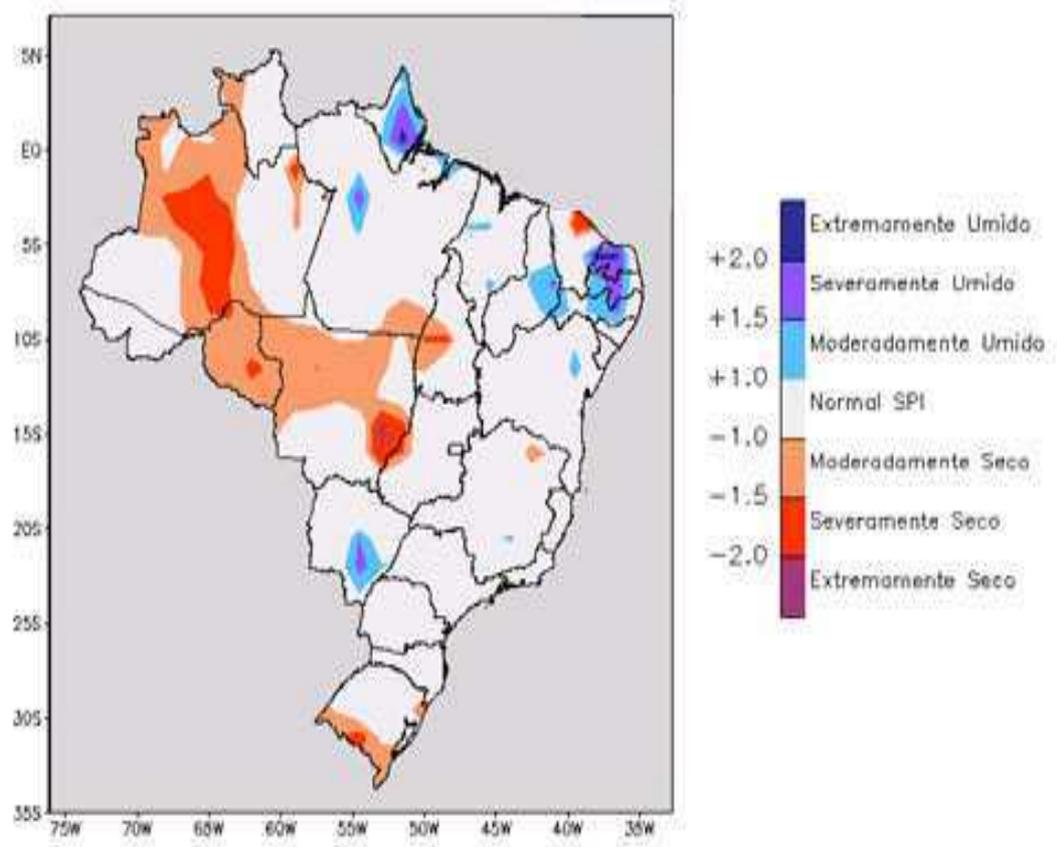


Figura 21- Índice de Precipitação Padronizada (SPI ) agosto-setembro-outubro/2010.

Fonte: INMET

Analisando as imagens obtidas através de dados de satélite, os mapas em vermelho e azul comparam a precipitação nas estações secas de 2005 e 2010, Anomalia SD em milímetros (Figura 22- A, B). O déficit hídrico climatológico máximo de superfície (MCWD) (Figura 22 - C, D) é um fator que calcula com mais precisão a quantidade de stress que as árvores suportar em uma seca e é mostrado na parte inferior da figura, de cor castanha. Há uma zona seca observada em ambas no sudoeste da bacia amazônica. A seca de 2010 afetou duas áreas adicionais, uma no sul da bacia, no norte da Bolívia e outra no sudeste, em Mato Grosso (LEWIS et al., 2011). As secas reduzem a taxa de crescimento das árvores e a sua repetição podem causar a morte de muitas árvores.

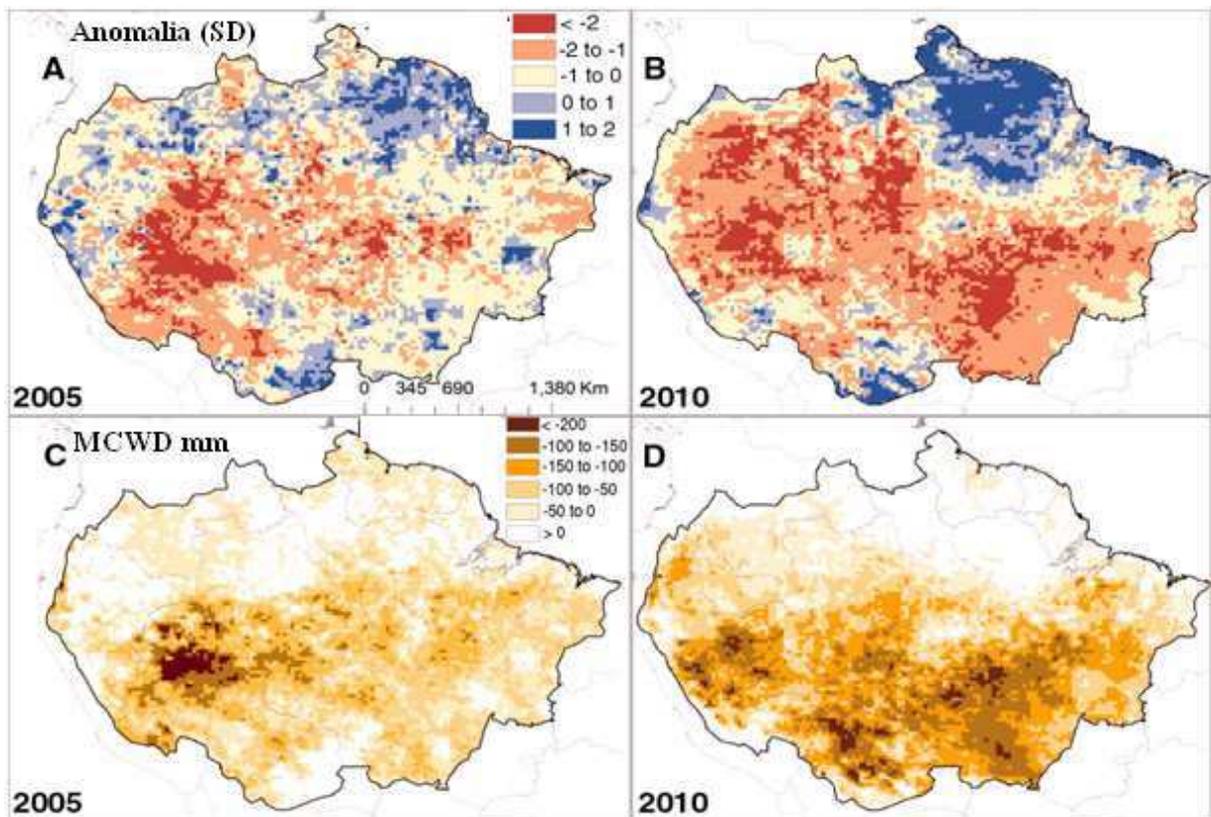


Figura 22 (A, B, C e D) - Comparação entre as SECAS de 2005 e 2010

Fonte: LEWIS et al. (2011)

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na década de 90 a pesquisa da variação interdecadal era focalizada somente em estudos dos oceanos, principalmente porque a variabilidade oceânica é um processo mais lento e a característica interdecadal é mais evidente. Secas e chuvas intensas (inundações) de verão na China tinham sido estudados por (WANG e ZHAO, 1979; WANG et al., 1981; WANG, 1990). Estudos mais recentes vieram caracterizar as fases quente e fria no oceano Pacífico norte como “Oscilação Decadal do Pacífico - ODP”.

Para medir a fase e a intensidade da ODP utiliza-se um índice definido por MANTUA et al., (1997), o IODP. Este índice baseia-se na componente principal do primeiro mododa análise de funções ortogonais empíricas das ATSMs ao norte de 20°N no oceano Pacífico. Quando o IODP é positivo, ou regime quente prevalece águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico tropical e leste e águas mais frias que o normal no Pacífico norte; para o IODP negativo, o padrão de ATSM apresenta configuração inversa (Figura 23).

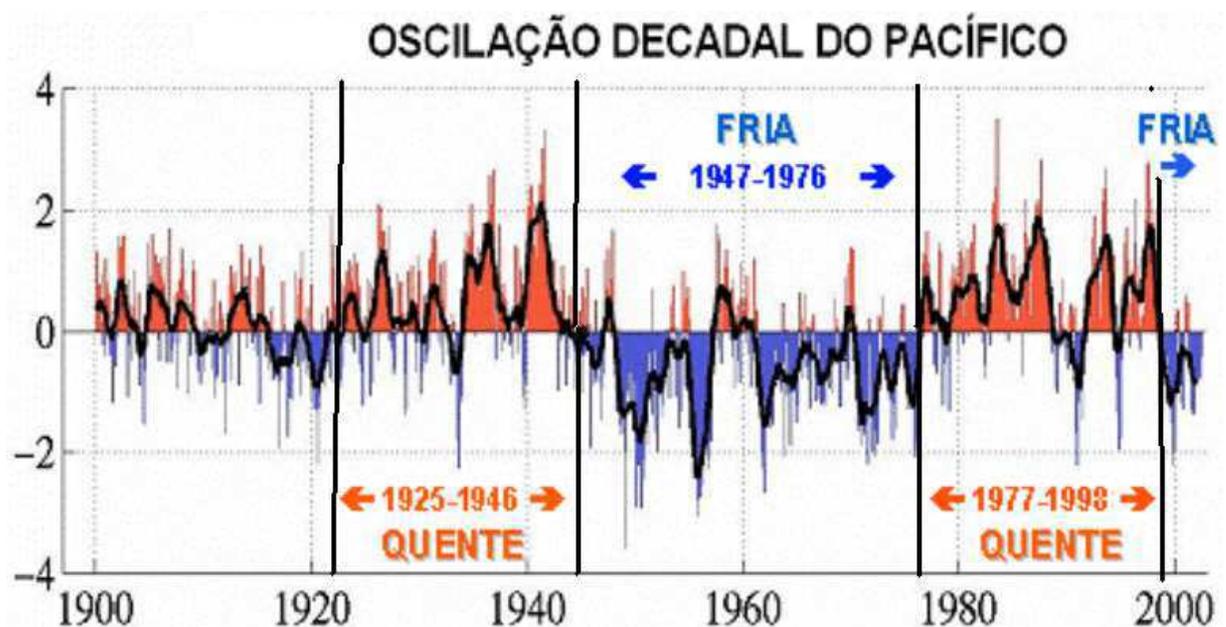


Figura 23 - Série temporal do índice da ODP.

Fonte: MANTUA et al. (1997)

O período da ODP, tanto a fase quente, (1925-1946 / 1977-1998) quanto à fase fria (1947-1976) e a projeção feita por (EASTERBROOK, 2008) de que a nova fase fria que começou em 1999 e provavelmente irá até 2025/2030 (Figura 24).

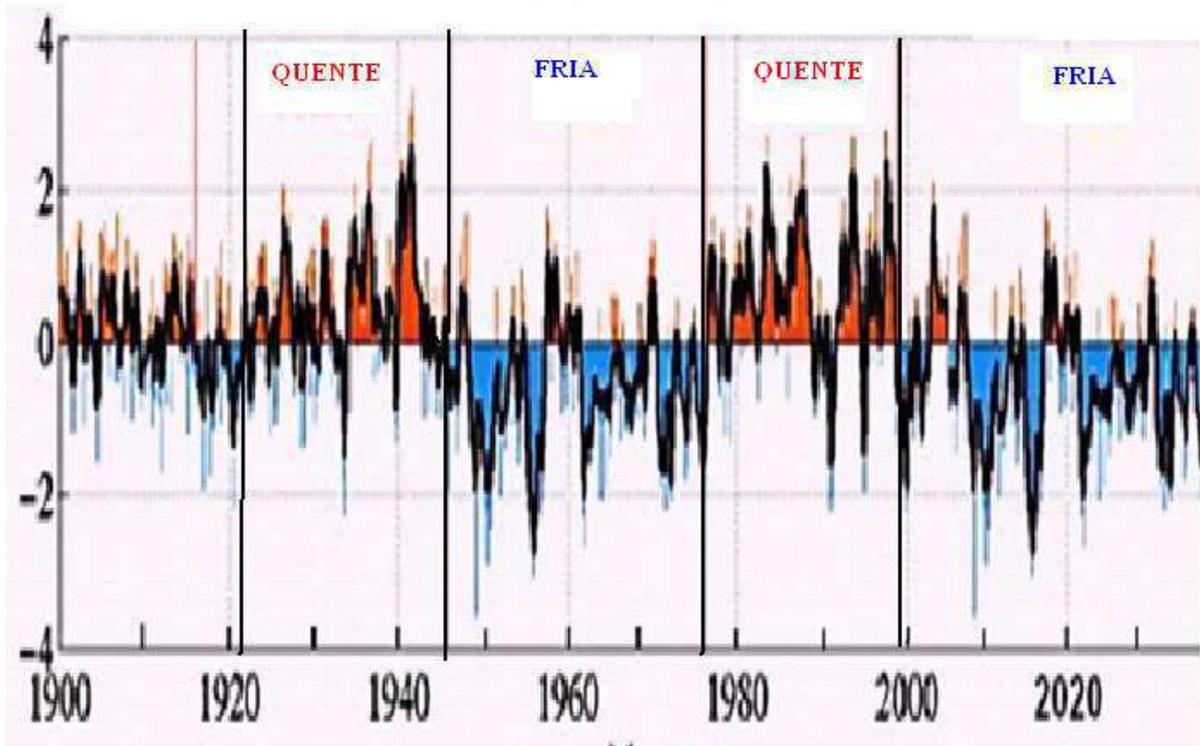


Figura 24 - Gráfico do IODP de 1900 a 2008 e projeção para até 2035.

Fonte: EASTERBROOK (2008)

O início de uma nova fase fria da ODP ocorreu no ano de 1999 e no presente ainda estamos sob influência desta fase da ODP, que deverá durar 15 a 20 anos. Em decorrência da variabilidade espacial e temporal da precipitação nessa região, o nível dos rios na Amazônia apresenta um ciclo anual que compreende períodos de CHEIAS e SECAS, cuja intensidade varia de um ano para outro. Somado aos efeitos de declividade nesta região, o nível da água nos cursos de rios que compreendem a bacia Amazônica variam de 2 a 18 metros descritos por (FILIZOLA, 2003). O impacto de eventos nos oceanos Pacífico (El Niño – EN; La Niña – LN) e Atlântico (Gradiente Meridional - GRADM) sobre a precipitação em três sub-regiões distintas do Nordeste do Brasil (NEB) são avaliados durante o período 1948 a 1997 (LUCENA et al., 2011).

Uma boa relação do índice multivariado do ENOS (IME), com as fases positiva e negativa da ODP e um resultado bastante considerável, (WOLTER; TIMLIM, 1998) como mostrado abaixo (Figura 25).

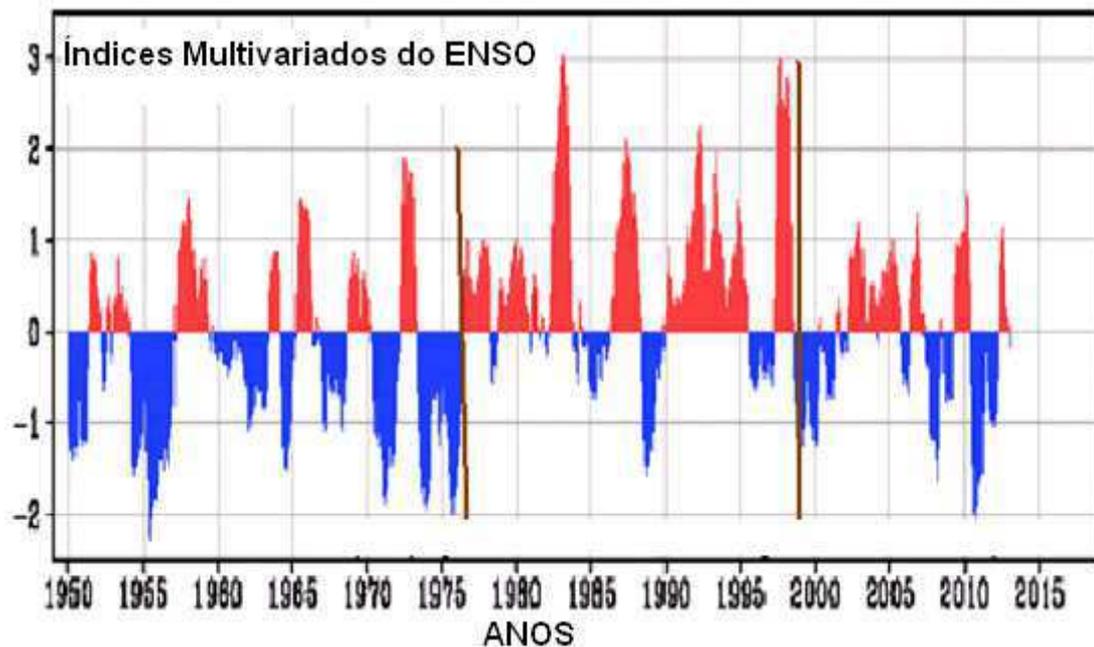


Figura 25 - Índices Multivariados do ENSO, adaptada de WOLTER e TIMLIM, (1998)

Fonte: NOAA/CDC/ESRL/CIRES: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>

Desde 1999, imagens do satélite francês-americano *Topex-Poseidon*, mostravam áreas no Pacífico norte com anomalias de temperaturas positivas e negativas, alternadas entre suas sub-bacias leste e oeste. Por outro lado, desde então, foram iniciados estudos para tentar achar uma correlação desse fenômeno com variações da precipitação a nível decadal no Brasil (REBELLO, 1999). O autor verificou uma boa relação entre os índices da ODP e as anomalias de precipitação no estado do Rio Grande do Sul (positivas e negativas).

A partir de 1999, quando começou a fase fria da ODP (índices negativos da ODP), observaram-se estiagens seguidas no Rio Grande do Sul em 2001/02, 2002/03, 2003/04 e 2004/05 (esta a mais severa com quebra da safra agrícola em torno de aproximadamente 10 milhões de toneladas) e 2005/06 conseqüentemente como vem ocorrendo nos últimos cinco anos a ocorrência de poucas chuvas no outono e inverno, faz com que o estado do Rio Grande do Sul, entre na primavera/verão com pouca disponibilidade hídrica no solo (REBELLO, 2006).

A estação chuvosa na Amazônia nos anos de 1988 e 1989 e sua relação com a circulação geral da atmosfera, comparando os totais de precipitação da estação chuvosa na Amazônia (outubro de 1988 a maio de 1989, com os de outros anos) (NEVES, 1995).

A mais severa SECA no século XX na Amazônia ocorrida em 1926 alcançando a cota máxima de 21,8 metros, com 6 metros abaixo da média do pico máximo, as anomalias de

precipitação foram negativas, afetando o nível das sub-bacias e uma diminuição considerável das vazões dos rios que formam o Amazonas (WILLIAMS et al., 2005).

A variabilidade interdecadal da chuva na bacia norte e sul da Amazônia, que mostra um comportamento contras. Na escala regional, a chuva na Amazônia apresenta uma fraca tendência negativa, enquanto que a chuva na Amazônia sul apresenta uma tendência positiva pronunciada. As mudanças de fase em meados da década de 1940 a 1970. Após 1975, a Amazônia do norte/sul apresenta relativamente menos/mais chuva, quando comparada ao período anterior. Esta mudança de regime pode estar associada a mudanças nos campos de circulação atmosférica e oceânica no Pacífico central que ocorreu em 1975/76, período relativamente menos chuvoso, após 1975, na Amazônia do norte possivelmente se estende até o início de 2000. Essa mudança aparentemente está associada com a fase positiva da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), sendo este um período onde ocorreram eventos El Niño mais frequentes e intensos (1982/83, 1990/94 e 1997/98) (MARENGO et al., 2006)

Figura 26

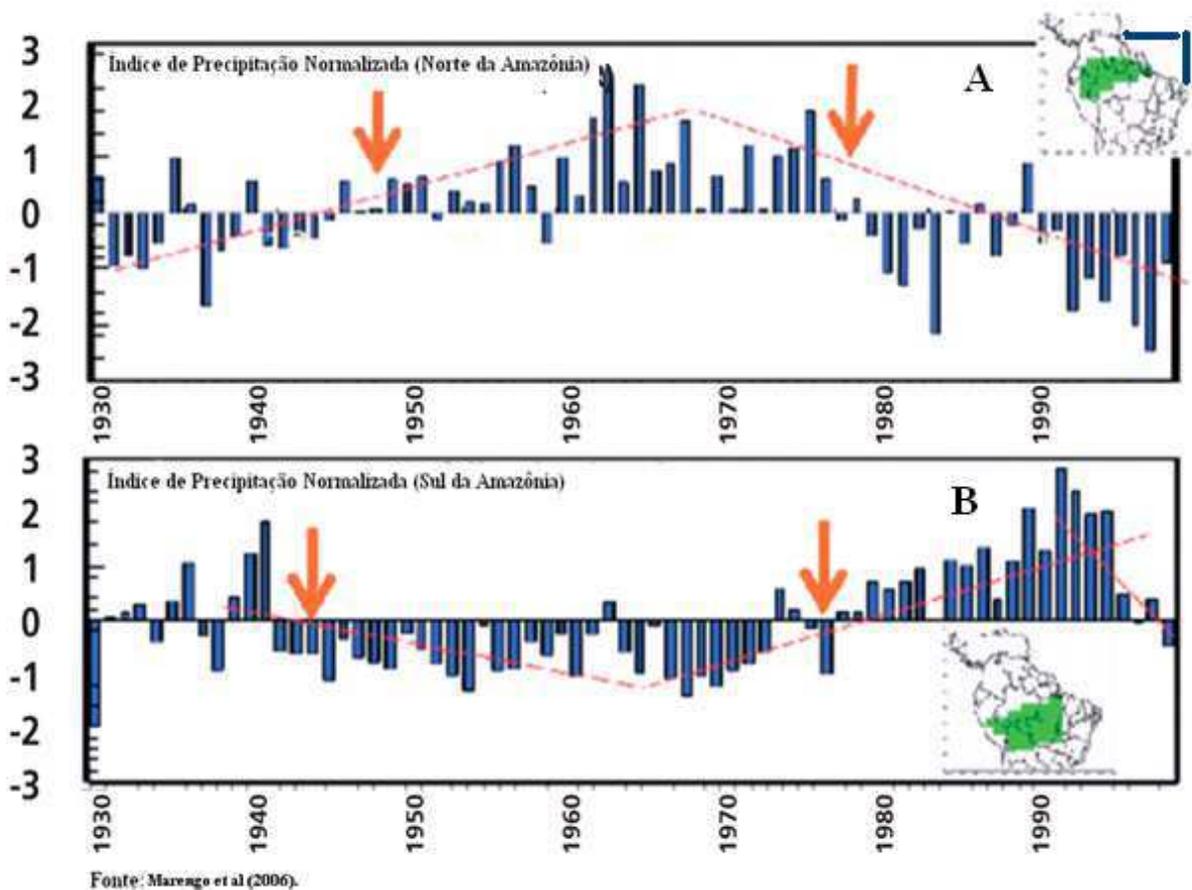


Figura 26- Anomalias normalizadas de chuva para o norte (A) e para o sul (B) da Amazônia desde 1929 a 1997.

Fonte: MARENGO et al. (2006)

A SECA na Amazônia em 2005 foi estudada por diversos autores como (MARENGO et al., 2005) mostra que o aquecimento(resfriamento) do Atlântico norte tropical pode induzir condições seca (chuvosa) sobre a Amazônia Ocidental. A influência da TSM do Atlântico Norte é mais forte no sul do Estado do Amazonas durante a estação seca (LIBERATO; BRITO, 2008; OMENA, 2010) mostraram que as temperaturas no Rio Grande do Sul têm uma influência da ODP, mas não mostrou resultados estatísticos significativos.

A SECA na Amazônia em 2010 foi estudada por (LEWIS et al., 2011), mostraram que foi a SECA mais severa do século, com mais déficit hídrico do solo.

As anomalias das temperaturas da superfície do mar (ATSM) são reconhecidas como entre os principais mecanismos detendências da precipitação e variabilidade climática em diversasescalas de tempo, na Amazônia e em todos trópicos (por exemplo, (ROPELESKI; HALPERT, 1987; LIEBMAN; MARENGO, 2001; RONCHAIL et al., 2002; MARENGO, 2004; MARENGO et al., 2011).

Por meio de teleconecção atmosférica, a influência de anomalias de TSM pode ser sentida a nível local. O modo mais conhecido de variabilidade de TSM tropical é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), que tem seu centro de ação no Pacífico. Durante a fase de aquecimento ENOS - El Niño- IOS, uma grande parte da que América do Sul tropical experimenta reduzida precipitação, incluindo o norte e leste da Amazônia, enquanto as condições opostas tendem a ocorrer durante a fase inversa, chamado de LaNiña (ACEITUNO, 1988; MARENGO, 1992).

As SECAS severas de 2005 e 2010, por outros estudos têm sido relacionadas a um gradiente de TSM no Atlântico tropical (COX et al., 2000; MARENGO, 2008; MARENGO, 2011).

O gradiente de TSM entre o Atlântico norte e sul tropical tem influência sobre a posição da zona de Zona Convergência Intertropical (ZCIT), é uma faixa latitudinal de convergência, a ascensão e a precipitação que migra sazonalmente). Quando as TSMs são maiores do que o habitual no Atlântico tropical norte em relação ao Sul, reduz-se a precipitação sobre a Amazônia. Essa teleconecção é particularmente importante durante o final temporada quando as deficiências de precipitação podem ter muito impactos maiores do que durante o estação chuvosa (MARENGO, 2008; MARENGO, 2011). Dada a importância do Pacífico tropical e do Atlântico tropical. As oscilações ODP e OMA também tiveram influências sobre a precipitação total anual da Amazônia Ocidental, mas não apresentaram influências sobre os dias consecutivos secos. O resultado mostra que o controle se dar sobre o total de chuva diário e não no número de dias com chuva (DANTAS et al., 2012).

#### **4 As maiores CHEIAS e SECAS**

As CHEIAS que ocorrem na orla de Manaus e seu entorno são devidas, em sua maior parte, às contribuições do Rio Solimões e dos seus afluentes da margem direita e em menor grau, aos tributários da margem esquerda. São CHEIAS que apresentam um longo tempo de percurso, devido ao gigantesco tamanho da bacia hidrográfica e a pequena declividade observada nos leitos dos seus principais corpos d'água. Isto facilita a sua previsibilidade com vários dias de antecedência. O tempo médio de subida das águas é de cerca de sete/oito meses de acordo com o relatório técnico das CHEIAS (CPRM, 2010).

A Amazônia apresenta também reduções significativas nos totais pluviométricos na estação chuvosa, provocando SECAS regionais, como as ocorridas nos anos de 1906, 1912, 1916, 1926, 1936, 1963, 1958, 1997, 1998 e 2005 e 2010, que pode ter uma relação além da ocorrência dos fenômenos El Niño, La Niña, ODP e OMA.

Uma das ferramentas importantes para se prever sistemas precipitáveis com chuvas extremas em curtíssimo prazo em pequena escala ou local é através do modelo *COSMO*, em operação no INMET. O modelo regional de previsão numérica não hidrostática de área limitada para pequena escala, do inglês *COSMO – Consortium for Small-Scale Modelling*, resoluções de 7 km para 72 horas e de 2,8 km para 24 horas, rodadas a cada 06 horas.

## 5 ÁREA E PERÍODO DE ESTUDO

A precipitação pluvial é um dos elementos climáticos mais importantes nas regiões tropicais. A Amazônia, a mais extensa bacia hidrográfica do Globo, com cerca de sete milhões de quilômetros quadrados, apresenta grandes totais pluviométricos mensais e anuais. Localizada entre os paralelos 5°N e 15° S e os meridianos 46° N e 75° W, essa região é caracterizada pela presença de uma densa floresta tropical chuvosa, considerada a maior e extensão da Terra, por cerca de quatro milhões de quilômetros quadrados, 78 por cento de florestas naturais, podendo ser subdividida basicamente em duas classes: Mata de Igapó ou Floresta Inundável (várzeas) e florestas de terras-firmes, que compreende áreas florestas não-inundáveis (MOLION, 1975; SILVA FILHO, 1981), do ponto de vista hidrográfica, a região amazônica é formada essencialmente pelo rio Amazonas, que em território brasileiro, desde a cidade de Tabatinga a rede de até a confluência com o rio Negro, é denominado rio Solimões, e por uma imensa quantidade de afluentes, alguns de tamanho e curso bastante consideráveis, possuindo regime hídrico bem definido, e suas águas apresentam cores entre branca e “negra”. A evapotranspiração real (ETR), nessa região, deve ser aproximadamente igual a potencial (ETP). O valor médio da ETP foi estimado por (VILLA NOVA et al., 1974). Segundo esses autores, desde que a transpiração das plantas representa 54% de precipitação, tudo indica que um desmatamento intensivo deverá provocar alterações consideráveis no ciclo hidrográfico da região (MOLION; KOUSKY, 1985) relataram a ETP representa, em média, 48% do total de precipitação em forma de chuva.

Diante das considerações físicas, a intensificação dos sistemas e perturbações atmosféricas que ocasionam mudanças nas condições de tempo na região tropical ocorre basicamente no verão, quando essa área recebe maior quantidade de energia solar. A região, porém, apresenta grande variabilidade interanual, ao contrário do que se acreditava. Essa variabilidade é causada pelas flutuações anuais da circulação de *Hadley - Walker* e flutuações a nível decadal, tipicamente tropical e de grande escala, em associação com a circulação extratropical manifestada pelos deslocamentos ou bloqueios dos sistemas frontais (SF) ou frentes frias (FF) de origem polar. O período de estudo foi de 1902 a 2012 e em alguns anos, tem-se grandes totais pluviométricos e, como consequência, CHEIAS extraordinárias com níveis do rio Negro no porto de Manaus acima de 29,00 metros: 1909, 1922, 1953, 1971, 1975, 1976, 1989, 1999, 2009 e 2012. As SECAS severas, semelhantes às registradas nos anos de 1906, 1912, 1916, 1926, 1936, 1958, 1963, 1997, 1998, 2005 e 2010. As maiores ocorridas neste

século, que podem estar relacionados com fenômenos acoplados oceano-atmosfera interanuais e decadais.

## 6 DADOS E METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho foram utilizadas as Normais Climatológicas (1931 -1960 e 1961 – 1990) e série mensal de dados de precipitação das estações meteorológicas do INMET na Amazônia, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os valores padrões do índice de ODP são derivados das anomalias mensais de temperatura (ATSM) no oceano Pacífico norte em torno de 20°N até o pólo norte. [www.jisao.Washington.edu/pdo/PDO.latest](http://www.jisao.Washington.edu/pdo/PDO.latest). Para maiores detalhes ver em (ZHANG et al, 1997).

A fonte dos dados para o índice da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), Índices mensais da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) de 1850 a 2010: [http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic\\_multidecadal\\_oscillation](http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation), e séries históricas de TSM no período de 1900-81; *Reynold's Optimally Interpolated SST* (V1) para janeiro de 1982–Dezembro de 2001) OI SST Versão dois (V2), disponibilizados pelo UKMO.

Índices de precipitação padronizada, SPI (*Standard Precipitation Índice*), O índice SPI foi formulado por *Tom McKee* e colaboradores em 1993 no *Colorado Climate Center – Colorado State University*. O objetivo é determinar um valor numérico para a precipitação, que possa ser comparado com outras regiões com climas bem distintos. Esse índice é baseado na probabilidade da precipitação, para diferentes escalas de tempo, contribuindo para uma avaliação da severidade da SECA. As diferentes escalas de tempo (3, 6, 12 e 24 meses) refletem o impacto da seca sobre a disponibilidade das diferentes reservas de água; em pequena escala a umidade do solo para a agricultura.

Anomalia trimestral da precipitação, disponibilizados pelo INMET/MAPA.

Foram utilizadas imagens do satélite Topex-Poseidon, da página [www.nasa.gov/jpl](http://www.nasa.gov/jpl).

Relatório da “CHEIA” de 2010, 2011 e 2012 disponibilizados no site da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

Com base na observação de um cotograma típico da estação fluviométrica do porto de Manaus, cuja série histórica iniciou em setembro de 1902, pode-se inferir que é possível estabelecer uma correlação entre as cotas de um determinado dia com a cota do pico da CHEIA.

É esta a ferramenta principal que nos permite prever a magnitude da cheia, com um alto nível de acerto e antecedências sucessivas de 75, 45 e 15 dias do evento.

Essas projeções estatísticas são continuamente validadas pelo acompanhamento da evolução dos níveis d'água em estações fluviométricas, instaladas em pontos estratégicos da bacia que nos permitam consultas, via telefone, através dos observadores.

Elegeu-se como data referência para a formulação de previsões, os dias 31 de março, 30 de abril e 31 de maio de cada ano.

A previsão emitida em 31 de março é estabelecida a partir de uma equação de mínimos quadrados, gerados pelos pares de cotas referentes aos dias 31 de março da série histórica considerada e o pico real da cheia correspondente àquele ano. Similarmente são geradas as equações para os dias 30 de abril e 31 de maio.

Em realidade qualquer dia, no período de março a maio, poderia ser escolhido para fazer as previsões, bastando somente definir as equações correspondentes. Como em qualquer previsão de cheias, essas terão maiores probabilidades de acerto, quanto mais próximo se estiver do dia do evento previsto (CPRM, 2010).

**TABELA 2 – Histórico das CHEIAS dos Rios Negro/Solimões em Manaus**

Nº de Orden	Ano	Evolução das Cheias			Pico da Cheia	Tempo de Retorno
		Início	Fim	Nº de dias (m)		
1	2012	15/11/2011	29/05/2012	212	29.97	110.0
2	2009	30/10/2008	01/07/2009	244	29.77	107.0
3	1953	31/10/1952	09/06/1953	221	29.69	53.5
4	1976	30/11/1975	14/06/1976	197	29.61	35.7
5	1989	15/10/1988	03/07/1989	261	29.42	26.8
6	1922	02/11/1921	17/06/1922	227	29.35	21.4
7	1999	30/10/1998	23/06/1999	236	29.30	17.8
8	1909	31/10/1908	14/06/1909	226	29.17	15.3
9	1971	14/11/1970	24/06/1971	222	29.12	13.4
10	1975	11/12/1974	23/06/1975	194	29.11	11.9

**TABELA 3 – Histórica das SECAS dos Rios Negro/Solimões em Manaus**

Nº de Orden	Ano	Evolução das Secas			Pico da
		Início	Fim	Nº de dias	
1	2010	13/06/2010	24/10/2010	133	13.63
2	1963	20/06/1963	30/10/1963	132	13.64
3	1906	07/06/1906	13/11/1906	159	14.20
4	1997	10/06/1997	04/11/1997	144	14.34
5	1916	11/06/1916	17/10/1916	128	14.42
6	1926	05/07/1926	12/10/1926	99	14,54
7	1958	29/05/1958	18/10/1958	142	14,74
8	2005	29/06/2005	30/11/2005	154	14.75
9	1936	20/05/1936	29/09/1936	132	14.97
10	1998	05/07/1998	30/10/1998	117	15,03

## 6.1 Previsão de SECAS e CHEIAS extraordinárias na Amazônia.

### 6.1.1 Previsão de SECAS extraordinárias

Analisando-se dez anos de dados de satélite, uma equipe de cientistas liderados por pesquisadores da Universidade da Califórnia, com o apoio da NASA criaram um modelo que pode com sucesso fazer a previsão com bastante antecedência a severidade e a distribuição geográfica da intensidade das SECAS com meses de antecedência.

Uma nova pesquisa demonstra que fatores ambientais, especificamente pequenas variações nas temperaturas do oceano, amplificam impactos humanos e sustentam grande parte da variabilidade do número de incêndios e de SECAS que na região amazônica experimenta de um ano para o outro (WADE, 2005).

As anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) quando estão acima do normal nos oceanos Atlântico tropical e norte e o Pacífico tropical e norte indicam um sinal vermelho que pode representar uma temporada de graves incêndios e SECAS com quatro a seis meses de antecedência, que são usadas para prever a severidade da temporada de incêndio em grande parte da Amazônia e ocorrência de SECAS extraordinárias.

Os pesquisadores acreditam que as temperaturas de superfície do mar anormalmente quente causam padrões de precipitação regional a se deslocar do norte para o sul da Amazônia durante a estação chuvosa. O resultado é que os solos não ficam totalmente saturados. Meses mais tarde, os níveis de umidade e chuvas diminuem e a vegetação torna-se mais seca e mais inflamável (MARENGO et al., 2006).

Para estabelecer a conexão entre a atividade das queimadas e SECAS extraordinárias e as temperaturas de superfície do mar (TSM), os pesquisadores analisaram dados de atividade dos incêndios coletados pelos instrumentos do satélite (*MODIS*) em uma série de dez anos na NASA dos satélites Terra e Aqua e comparando o número de fogos para registros de temperaturas da superfície do mar mantidos pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Anos com temperaturas neutras nos oceanos tinham menos incêndios, enquanto anos que experimentaram temperaturas muito quente no oceano experimentaram mais incêndios. Os pesquisadores também procuraram e encontraram alterações em padrões de precipitação, medida pelo *TRMM*, um satélite gerido conjuntamente pela NASA e o *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*.

Embora um estudo da Universidade de Columbia publicado em julho deste ano mostrou essa superfície de mar temperaturas no Atlântico norte poderiam ser usadas para prever a severidade das SECAS em toda a uma pequena parte da Amazônia ocidental, no Peru e no Brasil, o novo estudo considera uma faixa muito mais ampla da América do Sul e leva em conta como as temperaturas do oceano em ambos os oceanos Pacífico e Atlântico afetam as SECAS extraordinárias da Amazônia (IRVINE et al., 2011).

A Universidade da Califórnia, desenvolveu e validaram um modelo de previsão de SECA, inovador que eles usaram para prever a severidade dos incêndios florestais e SECAS Figura 27, poderia ser usado para previsão de incêndios na temporada de 2010. Modelo da equipe da Universidade da Califórnia foi um sucesso, pois previu que a SECA prolongada e graves incêndios que ocorreram durante a temporada de 2010 fogo, que foi exatamente o que aconteceu (IRVINE et al., 2011).

Para a temporada de 2010, o modelo que foram rodados com êxito não só a gravidade da atividade de um incêndio e da SECA, mas também acertou a distribuição espacial do leste-oeste. Analisando para uma década completa de dados, os cientistas notaram um padrão distinto: incêndios na parte sul e sudoeste da Amazônia foram mais fortemente influenciados pela temperatura da superfície do mar no Atlântico norte, mas incêndios na parte oriental da Amazônia foram fortemente afetados pela temperatura da superfície do mar no Pacífico central (Figura 27).

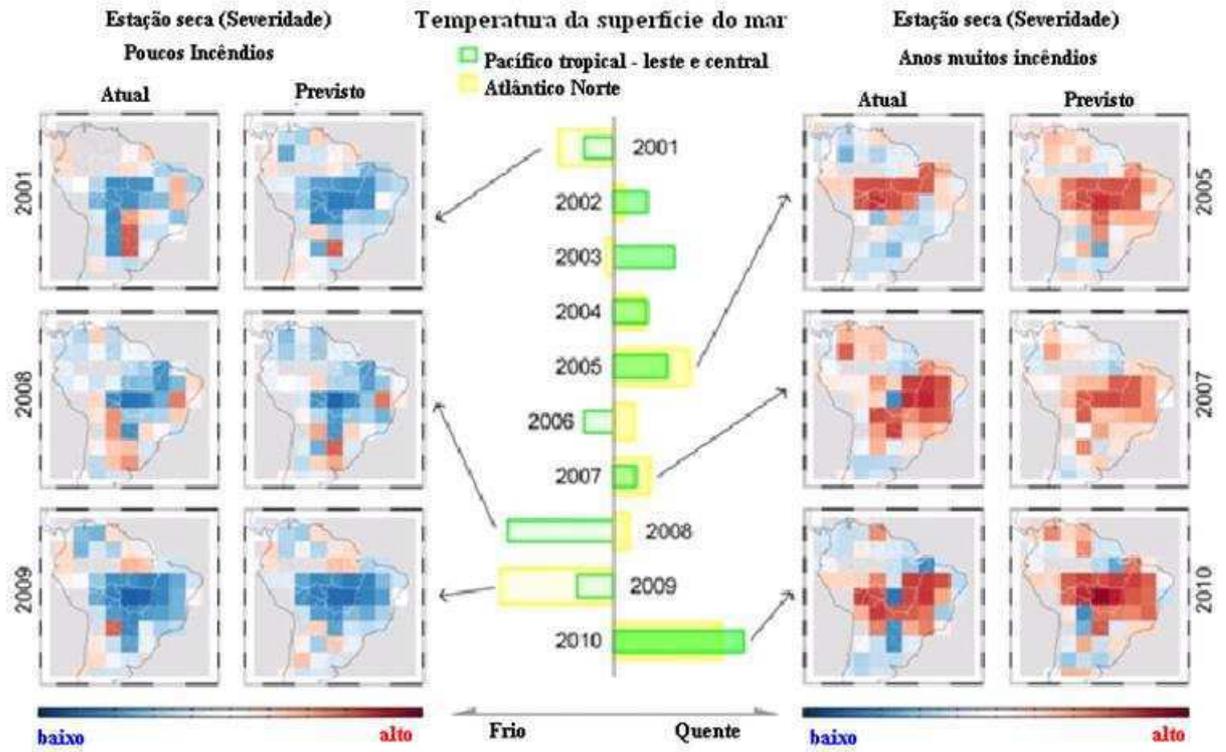


Figura 27 - Modelo de Previsão de SECAS e Incêndios na Amazônia.

Fonte: IRVINE et al. (2011)

### 6.1.2 Previsão de CHEIAS extraordinárias

A previsão estatística desenvolvida pela SUDAM/UFPA é disponibilizada através de um boletim diário distribuído a vários usuários e defesa civil e mostra a previsão para os próximos dez dias do nível dos principais rios da Amazônia Figuras 28 e 29.



Figura 28 – Previsão estatística do nível do rio Negro para 10 dias.

Fonte: SUDAM/UFPA (2013)

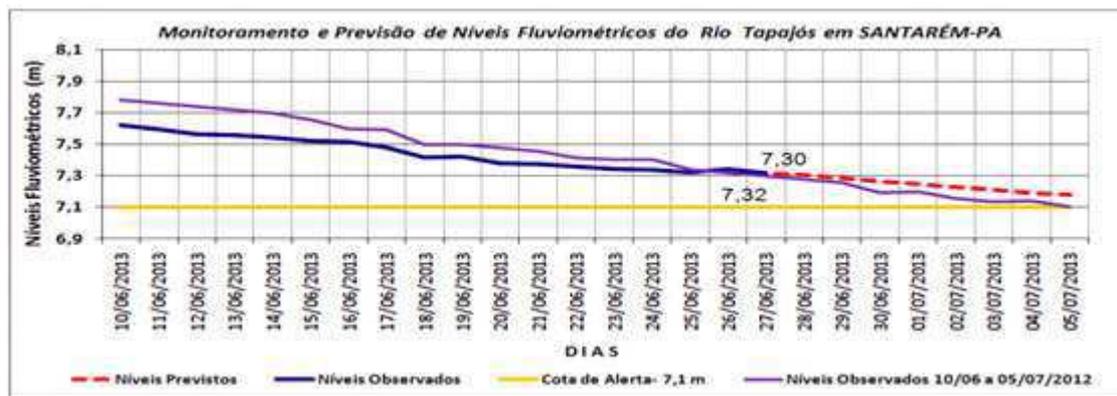


Figura 29 - Previsão estatística do nível do rio Tapajós para 10 dias.

Fonte: SUDAM/UFPA (2013)

## 7 RESULTADOS

A partir dos resultados serão usadas as siglas ODP (-), ODP (+), OMA (+) e OMA (-), para se referir às fases positiva da ODP e OMA.

CHEIAS extraordinárias ocorridas nos anos:

1975, 1971, 1909, 1999 La Niña ODP (-) OMA (-)

1922 1989 La Niña ODP (+) OMA (-),

1976 El Niño ODP (-) OMA (-)

1953 El Niño ODP (-) OMA (+),

2009 La Niña ODP (-) OMA (+)

2012 La Niña ODP (-) OMA (+).

A maioria das CHEIAS extraordinárias ocorreu 80% em anos de La Niña e 20% em anos de El Niño.

Em (80%) dos casos com a ODP (-) e 20% com a ODP (+); 70% OMA (-) e (30%), com OMA (+).

As três (3) maiores CHEIAS extraordinárias do rio Negro foram em anos estava OMA (+), que foram nos anos de 1953, 2009 e 2012.

A Amazônia apresenta em outros anos, reduções significativas nos totais pluviométricos na estação chuvosa, provocando SECAS regionais, como as ocorridas nos anos:

SECAS extraordinárias ocorridas nos anos:

1916, 1921 La Niña ODP (+) OMA (-)-

1926, 1997, 1998 El Niño ODP (+), OMA (-)

1958 1963, 2005 El Niño ODP (-), OMA (+)

2010 La Niña ODP (-) OMA (+)

1936 Neutro ODP (+) OMA (+)

As SECAS ocorrem em sua maioria com a ocorrência de eventos El Niños 60% e La Niña 30% e 10% em ano neutro. Enquanto, 60% com ODP (+) e 40% ODP (-), (50%) com OMA (+) e 50% com OMA (-). Nota-se a influência dos fenômenos interanuais e decadais na ocorrência de SECAS extremas na Amazônia.

Os pesquisadores só apresentaram estudos com relação a essas 2 SECAS recentes (2005 e 2010) com o Atlântico quente OMA (+), pois nesses anos houve uma subsidência no sul e sudoeste da Amazônia, mas na série de SECAS elas ocorrem 50% com o Atlântico tropical frio OMA (-).

Embora não sejam determinantes os eventos El Niño, La Niña e ODP e OMA, tem uma grande influência na ocorrência de CHEIAS ou SECAS (Vazante), extraordinárias no sistema rio Negro/Solimões. 60% das CHEIAS extraordinárias ocorreram em anos de La Niña e ODP negativo, 20% das CHEIAS ocorreram em anos de La Niña e ODP positivo e 20% em anos de El Niño e ODP (-), inclusive a terceira maior ocorrência no ano de 1953 foi em um ano de El Niño e ODP (-), uma exceção.

As relações acima mostram que tem uma relação além da ocorrência dos fenômenos El Niño, La Niña, ODP e OMA, provavelmente têm um papel importante na ocorrência das SECAS na Amazônia, principalmente as mais estudadas como foram as de 2005 e 2010 ocorreram com o Atlântico quente, OMA (+).

## 8 CONCLUSÕES

Neste trabalho chegou-se a algumas conclusões interessantes que em parte discorda de outros trabalhos já realizados: 60% das CHEIAS extraordinárias são causadas pelo fenômeno La Niña e ODP Negativo, embora 20% ocorram também com eventos La Niña e ODP (+) e 20% em anos de “El Niño e ODP (-), ou seja, as CHEIAS também ocorrem com o fenômeno El Niño. As três maiores CHEIAS do rio Negro foram em anos que a OMA estava em sua fase positiva, OMA (+), que foram nos anos de 1953, 2009 e 2012.

As SECAS ocorrem 60% com ODP (+), 40% ODP (-), (duas mais severas estudadas 2005 e 2010). Cinco (5) OMA (+) (50%), Cinco (5) OMA (-) (50%), os pesquisadores só apresentaram estudos com relação a essas 2 SECAS recentes (2005 e 2010) com o Atlântico quente, OMA (+), pois há uma subsidência no sul e sudoeste da Amazônia, mas na série de SECAS elas ocorrem em sua maioria com o Atlântico norte frio, talvez o oceano Pacífico norte tenha uma maior influência do que o oceano Atlântico norte.

Os fenômenos e processos que ocorrem no sistema Terra-Atmosfera-Oceano têm que ser estudados em conjunto, como o aquecimento/resfriamento dos oceanos, tanto a nível interanual como decadal, embora os oceanos sejam os reguladores do clima terrestre. Muitas pesquisas ainda devem ser feitas para entendermos melhor as interações e os processos que os rios da Amazônia Ocidental, que são os coletores das águas pluviométricas que vão se encontrar na confluência dos rios Negro e Solimões.

Portanto, concluiu-se que as CHEIAS e SECAS extremas que ocorrem da Amazônia Ocidental sofrem grande influência dos fenômenos interanuais El Niño/La Niña e decadais ODP e OMA.

O que se sabe é que estes fenômenos têm afetado a população, defesa civil, afetando também a economia, agricultura, saúde, com impactos graves nos ecossistemas da Amazônia.

### **8.1 Sugestões para Trabalhos futuros**

Para uma melhor compreensão da variabilidade climática e conquentemente das CHEIAS e SECAS que ocorrem na Amazônia sugere-se uma análise da dinâmica envolvida em alguns dos casos apresentados (2005, 2009, 2010 e 2012), usando dados de reanálises, além disso, devem-se considerar anos anteriores a 1998 e posteriores a 1999, de forma a considerar as fases distintas da ODP e OMA.

Propõe-se, também, uma análise do comportamento dos sistemas sinóticos (ZCIT, Alta da Bolívia, Linhas de Instabilidade, etc.), que atuam na Amazônia nas duas fases distintas da ODP e OMA e em anos de El Niño/La Niña. Talvez com isso, possam ser explorados novos aspectos envolvidos nestes mecanismos sinóticos modulados por fenômenos de maior escala temporal.

As configurações atuais de TSM no oceano Pacífico confirmam indicam que a ODP já entrou em sua nova fase fria, estima-se que ela perdure por mais 20 a 25 anos, semelhante ao que ocorreu na fase fria anterior (SOUSA, 2010; EASTERBROOK, 2008). O estabelecimento da nova fase fria da ODP que iniciou em 1999, espera-se que o comportamento da precipitação seja semelhante ao apresentado no período entre 1947-1976.

Estudos futuros poderão explicar porque em apenas sete anos (2005 a 2012), ocorreram os eventos mais intensos da série de 1902 a 2012 de CHEIAS (2009 e 2012) e SECAS (2005 e 2010) na Amazônia.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceituno, P.; On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate, *Monthly Weather Review*, 116, 505–524. 1988.
- CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais), **Relatório da Cheia do Rio Negro de 2009**. CPRM - DHT, Manaus- Amazonas. 2010.
- CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais), **Relatório da Cheia do Rio Negro de 2012**. CPRM - DHT, Manaus - Amazonas. 2012.
- Cox, P.M., Betts R. A., Jones C. D, Spall S.A, Totterdel.,J., Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408:184-187. 2000.
- Dantas, L. G.; Brito, J. I. B.; Rodrigues, H. P.; Aires, R. A.; Cabral, D. E. C.; Oscilação Decadal do Pacífico e Multidecadal do Atlântico no Clima da Amazônia Ocidental, **Revista Brasileira de Geografia Física**, Homepage: [www.ufpe.br/rbgf](http://www.ufpe.br/rbgf), ISSN:1984-2295. 2012.
- Easterbrook, D. J.; Shifting on the Pacific Decadal Oscillation from this warm mode to cool mode assures global cooling for the next three decades. **Department of Geology**, Western Washington University. 2008.
- Enfield, D. B., Mestas-Nunez, A. B., Trimble, P. J.; The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S., **Geophysical Research Letters**, Vol. 28, NO. 10, Pages 2077-2080. 2001.
- Goldenberg, S. B., Landsea, C.W., Mestas-Nuñez, A.M., Gray, W.M.; The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications. *Science*, 293: 474–479. 2001.
- Irvine, U.C., Chen, Y; Ocean Temperatures can Predict Amazon Fire Season Severity, **NASA**, <http://www.nasa.gov>. 2011.
- Knight, J. R.; C. K. Folland, and A. A. Scaife; Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research. Letters*.33. 2006.
- Lewis, S., Brando, P., Phillips, O., Heijden, G. Nepstad, D.; A Amazon Drought 2010, *Science*, ISSN 0036-8075 (impresso) 1095-9203 (online), Volume 331. 2011.
- Liebmann, B. e Marengo, J.A.; Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin, *Journal of Climate*, 14, 4308–4318. 2001.
- Liberato, A. M., Brito, J. I. B.; Influência do Oceano Atlântico na Chuva da Amazônia Ocidental, **XV CBMET**, Florianópolis – SC. 2008.

Lucena, D. B.; Servain, J.; Gomes Filho, M.F.; Avaliação do Impacto de Eventos Extremos nos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a estação Chuvosa no Nordeste do Brasil, **Revista Brasileira de Meteorologia**, Vol. 26, n.2, PP 297-312, ISSN 0102-7786. 2011.

Mccabe, G. J., J. L., Bentancourt; Pacific and Atlantic Ocean influences on multidecadal drought frequency in the United States, **University of California**, Berkeley, CA. 2004

Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y.,Wallace, J. M., Francis R.C.; A Pacific Decadal Interdecadal Climate Oscillation with impacts on Salmon production, **Bulletin of American Meteorological Society**, 78, 1069-1079. 1997.

Marengo, J.; Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology** 12: 853- 863. 1992.

Marengo, J. A.; Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical Applied Climatolology**, 78, 79-96. 2004.

Marengo, J. A, Nobre, C.A., Pisnitchenk, I, Muniz, L. A., Obregon, G., Ambrizzi, T., Salati, E. Villanova, N.; Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade, biodiversidade 26, **Ministério do Meio Ambiente**. 2006.

Marengo, J. A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Oyama, M.D., Brown, F.I.; The Drought of Amazonian in 2005, **Journal of Climate**, AMS, 21, 495–516, U.S.A. 2008.

Marengo, J .A, Tomasella, J. Alves, L. M, Soares, W. R., Rodriguez, D.A.; The Drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, 38. 2011.

Mccabe, G. J., J. L., Bentancourt; Pacific and Atlantic Ocean influences on multidecadal drought frequency in the United States, **University of California**, Berkeley, CA. 2004.

Molion, L. C. B., A climatology study of energy and moisture fluxes of the amazonas basin, considerations of deforestation effects., W1, **Univesity of Wisconsin**, Press 195. 13p. (Tese PhD.), Madison. 1975.

Molion, L. C. B., Kousky, V. E. Climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE**, São José dos Campos.1985.

- Molion, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, **Climanálise, CPTEC/INPE**, agosto. 2005.
- Neves, E. K.; A estação chuvosa na Amazônia, de 1988 a 1989, e sua relação com a circulação geral da atmosfera. Tese de Mestrado, **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, MG. 1995.
- Oliveira, C. P.; Bernardo, O.S, Molion, L.C.B.; Possível relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a variabilidade climática no Brasil. **Departamento de Meteorologia, UFAL**, 2005.
- Omena, J. C. R.; A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e sua influência nas Temperaturas Máximas e Mínimas do Rio Grande do Sul, tese de Mestrado, 78f, CDD 551. 52464, **UFPEL**, Pelotas – RS. 2010.
- Rebello, E. R. G.; Oscilação Decadal do Pacífico (Palestra), **Foro Regional de Perspectivas Climáticas para o Sudeste da América do Sul**, 15/16 de setembro de 1999, Buenos Aires – Argentina. 1999.
- Rebello, E. R. G.; A Oscilação Decadal do Pacífico e sua possível influência no regime de precipitação do Rio Grande do Sul, **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis-SC. 2006.
- Ronchail, J.; Cochonneau, G.; Moliner, M.; Guyot, J.-L.; Chaves, A.G.M.; Guimarães, V.; de Oliveira; Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology**, 22, 1663-1686. 2002.
- Ropelewski, C. F., Halpert; M. S., Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El-Niño Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, 115, 1606-1626. 1987.
- Schlesinger, E.; Ramankutty, N.; An oscillation in the global climate system of period 65–70 years, **Nature**, 367-723, doi:10.1038/367723a0. 1994.
- Silva, J. F.; El Niño – O Fenômeno Climático do Século. **Editora Thesaurus**, 139p, Brasília – DF. 2009.
- Siqueira, J. R., Machado, L.A.T.; Climatologia da Propagação Meridional da América do Sul, acesso pelo link: [HTTP://mct-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/yolanda/2004/doc/V2.pdf](http://mct-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/yolanda/2004/doc/V2.pdf). 2004.
- Sousa, A.J. S.; Molion, L.C.B.; Junior, S.B.S.; Sousa J.R.A.: Comportamento da precipitação em Timbaúba (NEB) e relações com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). **XV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, São Paulo. 2008.
- Sousa, A. J. S., Ferreira, E. A., Sousa, J. R. A, Rolim, P. A. M.; A Oscilação Decadal do

- Pacífico e sua Influência na Precipitação de Goiânia – GO, **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém – Pará. 2010.
- SUDAM/UFPA; Boletim de Monitoramento Hidroclimático, **Aplicações para Alerta de Desastres e Ações de Defesa Civil**, junho. 2013.
- Yoon, J., Zeng, N.; An Atlantic influence on Amazon rainfall, **Climate Dynamics**, 34, 249–264, doi: 10.1007/s00382-009-0551-6. 2010.
- Wade, T.; Amazon Rainforest Suffers Worst Drought in Decades, **Reuters**. 2005.
- Wang, S.; Zhao, Z.; 36yr period of the drought/flood in China and its mechanism, **Acta Meteor.Sin.**, v37, p. 64-73. 1979.
- Wang, S.; Zhao, Z.; Chen Z.; Reconstruction of the summer rainfall regime for the last 500 years in China, **Geophysical Journal**, v5, 117-122. 1981.
- Wang, S.; The variation tendency of temperature in China and the Globe during the last one hundred years. *Meteorology*, V16, 11-15. WMO; ICSU; UNESCO; CLIVAR – A Study of Climate Variability and Predictability, **WMO/TD N° 690**, GENEVA. 1990.
- Wang, S.; Zhao, Z.; Chen Z.; Reconstruction of the summer rainfall regime for the last 500 years in China, **Geophysical Journal**, v5, 117-122. 1981.
- Williams, E., Dall’Antonia, A., Dall’Antonia, V. F., Almeida, J. M., Suarez, F., Liebman, B., Malhado, A. C. M.; The Drought of the Century in the Amazon Basin: An Analysis of the Regional Variation of Rainfall in South America in 1926. **Acta Amazônica**, ISSN IB09 4392, INPA, Manaus – AM. 2005.
- WMO; World Climate Research Programme, **WRCP – 89**, 157pp. 1995.
- Wolter, K and M. S. Timlim, Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 Weather, 53, 315-324, <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>. 1998.
- Villa Nova, N. A, Salati, E. Mitisui, E; Estimativa da evapotranspiração da Bacia Amazônia pelo método de Penman para condições de Floresta, **Acta Amazônia-INPA**, 6:215-228. 1974.