



COPPE/UFRJ

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA DA BACIA TRANSFRONTEIRIÇA DO RIO MADEIRA

Claudia Daza Andrade

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo
Marcos Aurélio Vasconcelos de
Freitas

Rio de Janeiro
Novembro de 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA DA BACIA TRANSFRONTEIRIÇA DO RIO MADEIRA

Claudia Daza Andrade

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcellos de Freitas, Docteur.

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D.

Prof. Benoit Le Guennec, Docteur

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

NOVEMBRO DE 2008

Andrade, Claudia Daza

Análise pluviométrica da bacia transfronteiriça do rio
Madeira /Claudia Daza Andrade.-Rio de
Janeiro:UFRJ/COPPE,2008.

X, 128p.:il.; 29,7 cm

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de
Engenharia Civil, 2008.

Referências Bibliográficas: p. 116 – 124.

1. Bacia Madeira, 2. Pluviometría 3. El Niño. I.
Azevedo, José Paulo Soares de. *et al* .II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de
Engenharia Civil. III. Título.

DEDICATÓRIA

Con mucho amor y cariño a mi Familia que representa el pilar de mis metas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos em cada rumo que tomo, e por me acompanhar sempre.

A minha família, pelo amor e carinho, pelo fundamental apoio apesar da distância, por toda a dedicação e pela torcida.

Ao meu orientador, professor José Paulo Soares de Azevedo, por me outorgar a oportunidade de realizar este trabalho e pelo apoio nas diferentes etapas da minha estada no Brasil.

Ao meu orientador, professor Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, pela confiança depositada, colaboração constante e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa concedida, que viabilizou a realização deste estudo.

À Agência Nacional de Águas, com especial atenção a Eurides, Marcos e Raymundo, obrigada pela atenção, colaboração e contribuição na fase do processamento de dados e na minha estada em Brasília.

Ao SENAMHI, na Bolívia, pela fundamental ajuda com a disponibilidade dos dados que foram determinantes para este trabalho.

À equipe e amigos do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG), pelo carinho, pelas horas de trabalho juntos e aprendizado profissional.

Ao André Gugliotti, pela ajuda com as correções do português.

A Bárbara Franz, pela amizade, pelo apoio, incentivo, pelo carinho e pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A Camilla Motta, pela força e por toda a colaboração prestada, por ter me acompanhado desde o início do mestrado até o fim, pela ajuda com o português, e principalmente, pelo carinho e amizade desde minha chegada ao Brasil.

Ao Gustavo Souza, pelo apoio amizade e paciência nos dias de trabalho com ArcGIS, e ArcView, pelas ajuda com os mapas.

Ao João Paulo, pela fundamental ajuda na organização dos dados e na colaboração com o desenvolvimento do trabalho.

Ao Leandro Beser, pelo apoio e amizade e pela ajuda com ArcView.

Ao Marcelo Monteiro, pela força e incentivo, pela colaboração com as referências bibliográficas e principalmente pelo carinho, apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.

A Marcela e Carlos, pelo apoio e compreensão e pela força para a finalização deste trabalho.

A Riane Nunes, pelo constante apoio ao longo deste caminho percorrido no Brasil, pela força e amizade, pela importante ajuda no desenvolvimento deste trabalho e principalmente pelo carinho.

A Tatiana Vale, pela amizade, pelos dias compartilhados na biblioteca, pelo constante apoio e pela ajuda na revisão do português.

As minhas amigas Adriana e Vanessa, e aos meus amigos da UNIRIO, Luna, André, Vinicius, Paulo César (PC), Kayzoram, obrigada pela torcida e apoio.

Aos meus amigos Fernando Gomes, Tatiana Kucharsky, Luis Vega, Gemma Quiroga, Edgar Salas, José Patiño, Yovana Astorga, pelo apoio, pela torcida para a finalização deste trabalho.

A todos os meus amigos e pessoas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA DA BACIA TRANSFRONTEIRIÇA DO RIO MADEIRA

Claudia Daza Andrade

Novembro/2008

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Engenharia Civil

A análise do comportamento das precipitações numa bacia hidrográfica é fundamental para os estudos hidrológicos e gerenciamento dos recursos hídricos. A bacia do rio Madeira é considerada uma das mais importantes sub-bacias da grande bacia Amazônica. São poucos os trabalhos existentes na literatura sobre a pluviosidade da bacia do rio Madeira. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo central analisar o comportamento das precipitações mensais na bacia do rio Madeira (Bolívia – Brasil) de forma conjunta. Esta análise foi realizada a partir de dados de 41 estações pluviométricas numa série histórica compreendida entre 1978 e 1998. O Período escolhido engloba os dois maiores eventos do fenômeno “El Niño” que ocorreram nos anos 1982-1983 e 1997-1998, permitindo observar a influência do fenômeno nas precipitações da região. A regionalização pluviométrica foi realizada por meio de agrupamento de dados. Os métodos usados para este fim foram: Ward e o k-médias. A bacia foi dividida em quatro regiões pluviometricamente homogêneas, onde ambos os métodos mostraram resultados similares. Os resultados da análise mostraram a variabilidade mensal das chuvas, representadas por gráficos de sazonalidade segundo as regiões homogêneas. A observação da influência do fenômeno “El Niño” em certas regiões da bacia do Madeira constatou tanto casos de déficit hídrico como de excesso de precipitação.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PLUVIOMETRIC ANALYSIS OF THE TRANSBOUNDARY BASIN OF THE MADEIRA
RIVER

Claudia Daza Andrade

November/2008

Advisors: José Paulo Soares de Azevedo
Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Civil Engineering

The analysis of the patterns of precipitation in a hydrographic basin is fundamental for the study of hydrosystems or the management of water resources. The Madeira river basin area is considered one of the most important sub-basins of the enormous Amazon basin, yet there are few scientific studies of the area's rainfall. In this context, this work has the central aim of analyzing the patterns of monthly precipitation in the Madeira River Basin (Bolivia - Brazil). This analysis was completed with historical data collected from 41 pluviometric stations in the area between 1978 and 1998. The selected period encompasses the two biggest events of "El Niño" phenomenon which took place in 1982-1983 and 1997-1998, with the goal of observing the influence of this phenomenon on the region's precipitation. The measurement of the rainfall in the areas was accomplished by data pooling. The methods used were: Ward and the k-means. The basin was divided in four homogeneous pluviometric regions, where both methods showed similar results. The results of the analysis showed the monthly variability of the rains, represented by seasonal graphs according to homogeneous regions. It can be observed that according to the data collected, the influence of the "El Niño" phenomenon in certain regions in the Madeira Basin created as many shortages of water as heavy precipitation.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2- CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MADEIRA NO CONTEXTO DA BACIA AMAZÔNICA.....	5
2.1 - Características físicas gerais da bacia Amazônica.....	5
2.2 - Classificação de bacias.....	11
2.3 - Localização da bacia do rio Madeira.....	16
2.4 - Características físicas da bacia do rio Madeira.....	17
2.5 - Aspectos relevantes da bacia do rio Madeira.....	31
2.5.1 - População.....	32
2.5.2 - Aspectos fronteiriços na bacia do rio Madeira.....	32
2.5.3 - Degelo dos Andes	34
3 - ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO NOS ANOS 1982-1983 E 1997-1998	36
3.1 - Introdução.....	36
3.2 - Características do fenômeno El Niño	37
3.3 - Aspectos históricos destacáveis do fenômeno El Niño	42
4 - REGIONALIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA POR MEIO DE TÉCNICAS DE AGRUPAMENTO DE DADOS	49
4.1 - Métodos Hierárquicos	52
4.2 - Métodos Particionais ou não Hierárquicos.....	54
5 - METODOLOGIA	58
5.1 - As redes hidrometeorológicas no Brasil e na Bolívia.....	58
5.1.1 - Brasil.....	60
5.1.2 - Bolívia	63

5.2 - A base de dados hidrológicos e o processo de seleção	66
5.3 - Regionalização pluviométrica	69
5.4 - Análise pluviométrica da bacia do rio Madeira e influência do fenômeno El Niño nas precipitações	73
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
6.1- A base de dados hidrológicos e o processo de seleção	76
6.2 - Regionalização pluviométrica	80
6.3 - Análise pluviométrica da bacia do rio Madeira e influência do fenômeno El Niño nas precipitações	91
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

1 - INTRODUÇÃO

Nas atuais relações de poder por meio da tecnologia, três são os recursos naturais estratégicos: a energia em suas diversas fontes, a diversidade biológica e a água (PORTO-GONÇALVES, 2004). No cenário mundial, a região Amazônica é hoje um dos principais alvos de interesse político e de preservação ambiental, dada a riqueza de seus recursos naturais e suas potencialidades.

A região Amazônica é conhecida, em âmbito mundial, como a maior floresta tropical do mundo e considerada o pulmão do planeta. Estende-se numa área de mais de seis milhões de quilômetros quadrados. Por sua biodiversidade, potencial energético e sua localização geográfica (desde os Andes até o Oceano Atlântico) constitui-se numa região estratégica e de interesse mundial.

A bacia Amazônica apresenta, ao longo de sua extensão, relevo e clima contrastantes, onde a influência de anomalias climáticas pode provocar grandes alterações na atmosfera provocando alterações na região. Um dos fenômenos que modificam o clima da região é o fenômeno El Niño, podendo causar um significativo dano na flora e fauna, por ausência de precipitação em alguns locais e excesso em outros.

Entre as sub-bacias mais importantes da bacia Amazônica, destaca-se a do rio Madeira. Esta bacia apresenta características físicas similares à bacia Amazônica, já que passa pelos Andes, planície Amazônica e escudo brasileiro, com altitudes que vão até os 6000 metros na região Andina.

O rio Madeira é considerado um dos principais afluentes meridionais do rio Amazonas e o segundo tributário andino da bacia. Entretanto, na região, ainda prevalece a idéia de que existe água em abundância, o que cria uma certa inércia na gestão deste recurso, já que, em geral é quase sempre a ameaça da escassez o que mobiliza as iniciativas de gestão em outras regiões (MASSON, 2005). Além disso, fatores antrópicos estão se tornando relevantes na medida que o desmatamento avança a

uma escala e velocidade elevadas, tendo um impacto significativo sobre os recursos hídricos.

No balanço hídrico de uma bacia hidrográfica a disponibilidade de precipitação em especial, juntamente com a evapotranspiração são fatores determinantes para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. Em particular a determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e a erosão do solo (TUCCI, 2007).

Nesse contexto, a análise pluviométrica é de significativa importância para uma boa gestão dos recursos hídricos, que visa definir diretrizes de planejamento urbano e regional, além de contribuir diretamente no estudo e entendimento da física e dinâmica dos fenômenos naturais que se apresentam.

Diante desses aspectos e levando em consideração que a bacia do rio Madeira abrange os países do Brasil e da Bolívia numa porção de mais de 90% do total da área da bacia, o objetivo principal desta pesquisa foi analisar o comportamento das precipitações pluviométricas de forma conjunta, numa série histórica que envolva os dois maiores eventos do fenômeno El Niño, permitindo observar a influência ou não deste fenômeno nas precipitações da região.

Entre os objetivos específicos, pode-se destacar:

- caracterizar a bacia hidrográfica do rio Madeira, descrevendo os aspectos físicos gerais das regiões tanto do Brasil quanto da Bolívia;
- conhecer o funcionamento das redes pluviométricas em ambos os países;
- realizar uma regionalização pluviométrica com a finalidade de identificar regiões pluviometricamente homogêneas na bacia;
- avaliar se existe ou não uma relação direta entre a altitude ou relevo da bacia e a quantidade de precipitação como, por exemplo, nos Andes bolivianos;

- realizar um mapa pluviométrico para observar a distribuição espacial das chuvas com os dados disponíveis.

Este trabalho encontra-se organizado em sete capítulos, no qual o primeiro se refere à introdução. O segundo capítulo aborda inicialmente uma caracterização geral da bacia Amazônica indicando alguns fatores relevantes para uma melhor compreensão da importância da bacia do rio Madeira. Depois, são apresentadas as classificações principais das bacias e sub-bacias nos países do Brasil e da Bolívia. Um terceiro tópico mostra a caracterização da bacia do rio Madeira, incluindo os aspectos físicos, climáticos, geológicos entre outros. Neste capítulo são abordadas também algumas questões relevantes, como os aspectos transfronteiriços e do degelo dos Andes.

O terceiro capítulo apresenta a importância da realização de estudos de análise pluviométrica para a gestão dos recursos hídricos. Além disso, mostra a influência do fenômeno El Niño na precipitação da região, proporcionando uma revisão histórica dos acontecimentos provocados, pelos denominados, eventos fortes do El Niño nos anos 1982-1983 e 1997-1998 no Brasil e na Bolívia.

O quarto capítulo aborda a regionalização pluviométrica apresentando alguns dos métodos e técnicas de agrupamento de dados utilizadas com a finalidade de encontrar as regiões homogêneas numa bacia hidrográfica ou numa determinada região. São abordadas também as vantagens e desvantagens destes métodos e apresentados alguns exemplos de estudos que aplicaram técnicas de agrupamento de dados para diversos fins.

O capítulo cinco apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, descrevendo, como primeiro tópico algumas características das redes hidrometeorológicas de ambos os países. Em seguida, é apresentada a metodologia do processo de seleção dos dados que serão os responsáveis pelo desenvolvimento do estudo. O terceiro tópico da metodologia descreve as etapas da regionalização pluviométrica, indicando os métodos de agrupamento selecionados e os programas

utilizados para esses agrupamentos. Nesse mesmo capítulo é descrito o procedimento para a identificação das estações que tiveram influência na precipitação no período considerado do fenômeno El Niño.

O capítulo sexto mostra os resultados em base a todo o processo da metodologia, incluindo gráficos, tabelas, e mapas que permitam uma melhor visualização dos resultados obtidos.

O capítulo sete apresenta as conclusões e recomendações que foram consideradas ao longo deste trabalho.

Desta maneira, esta pesquisa pretende oferecer maiores conhecimentos sobre a bacia do rio Madeira no âmbito hidrológico, de maneira de contribuir com estudos e projetos futuros relacionados a essa região.

2- CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MADEIRA NO CONTEXTO DA BACIA AMAZÔNICA

2.1 - Características físicas gerais da bacia Amazônica

A bacia Amazônica, localizada entre os paralelos 5° norte e 20° sul, consiste na maior bacia hidrográfica do mundo. A bacia possui uma área de drenagem de 6.100.000 km², que abrange porções dos territórios de diversos países, como o Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%) (GUYOT, 1993), conforme apresentado na Figura 2.1.

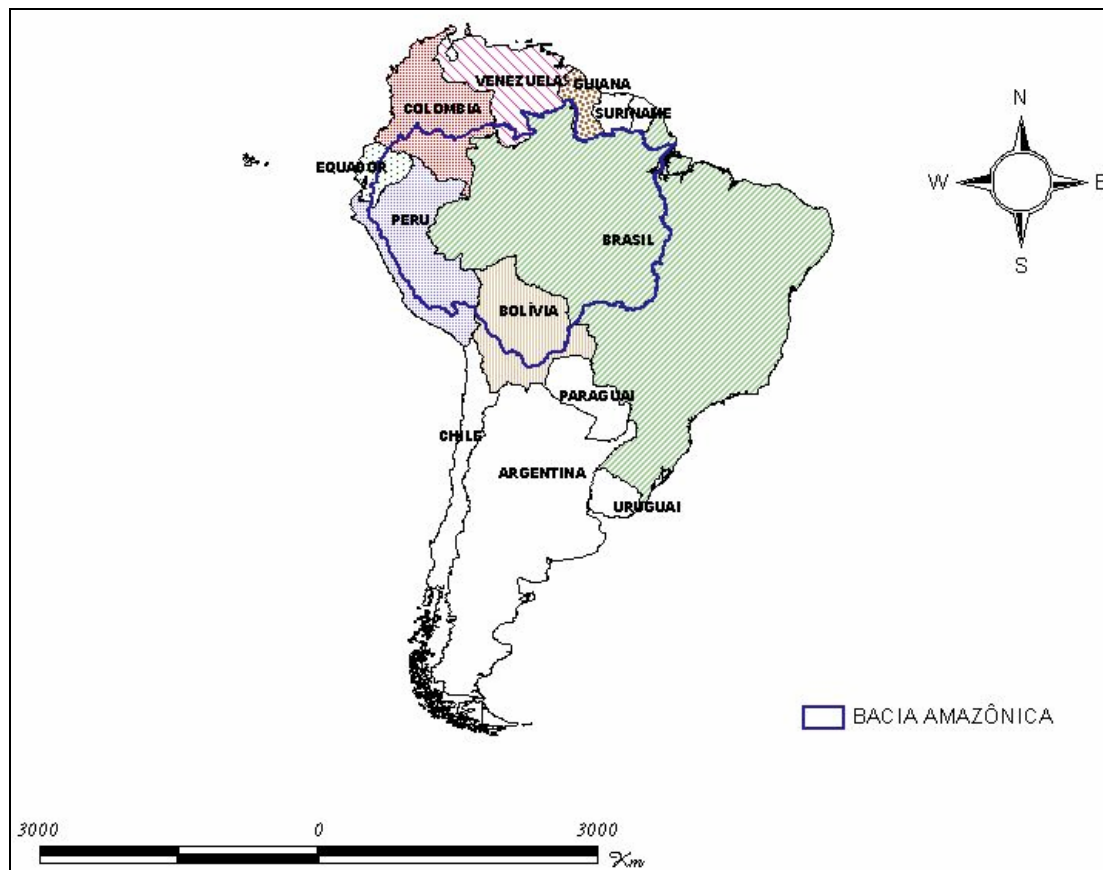


Figura. 2.1 - Localização da bacia Amazônica
Fonte - GEOAMAZONAS (2006).

A disponibilidade hídrica da bacia Amazônica representa aproximadamente 16% do estoque mundial de água doce superficial. Portanto, consiste numa importante

contribuição no regime de chuvas e evapotranspiração da América do Sul e do mundo (FREITAS, 2006).

Em termos geológicos, a bacia Amazônica apresenta três grandes unidades morfo-estruturais ligadas a sua formação geológica: os escudos pré-cambrianos (das Guianas e brasileiro, 44% da bacia), a cordilheira dos Andes (11%) e a planície Amazônica (45%) (GUYOT, 1993), como pode ser observado na Figura 2.2.

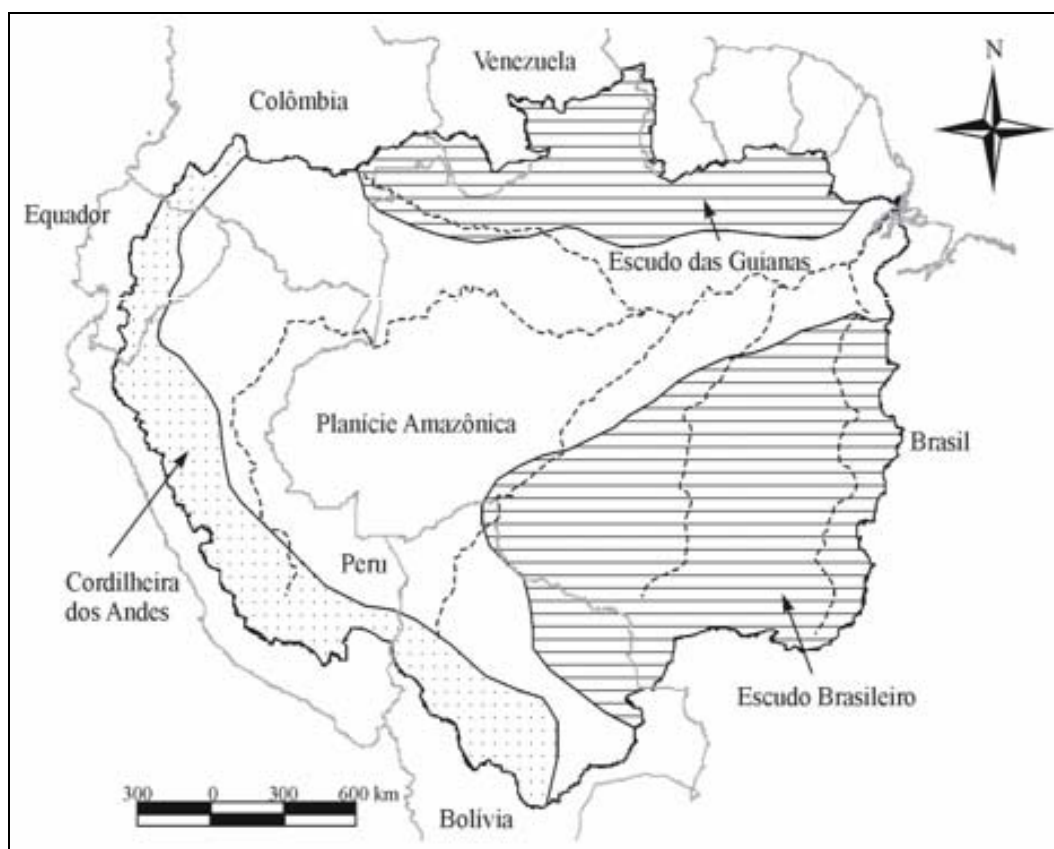


Figura 2.2 - Unidades morfo-estruturais da bacia Amazônica

Fonte – NETO (2006)

Clima: A bacia Amazônica apresenta, ao longo de sua extensão, relevo e clima contrastantes: compreende áreas que vão desde a Cordilheira dos Andes, com altitudes de até 6.000 metros, onde é possível se encontrar porções de clima quase polar, com temperaturas de até -25°C ; até a vasta planície fluvial, úmida e chuvosa, com temperaturas, em geral, superiores a $+25^{\circ}\text{C}$, passando por terrenos antigos dos

escudos brasileiros e das guianas com altitudes de 100 até 3.000 metros acima do nível do mar (FILIZOLA *et al.*, 2006).

Os sistemas de circulação atmosférica, que atuam diretamente na bacia Amazônica, exercem importante papel na variação de composições climáticas na Amazônia no tempo e no espaço. No setor oriental da região, sopram periodicamente, ventos de E a NE do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e do anticiclone subtropical dos Açores, em virtude de possuírem uma subsidência superior e conseqüente inversão de temperaturas, tais ventos são acompanhados de tempo estável; no setor ocidental, que possui clima quente, predomina a massa de ar equatorial (mEc), formada pela convecção termodinâmica dos ventos de NE do anticiclone dos Açores e da Zona de convergência intertropical (ZCIT), que, em função de sua forte umidade específica e ausência de subsidência superior, está, freqüentemente, sujeita a instabilidades causadoras de chuvas abundantes (BRINGEL, 2006).

Convém observar que, durante o inverno, toda a zona meridional da região Amazônica, especialmente o setor sudoeste, é freqüentemente invadida por tais anticiclones de origem polar, após transpor a cordilheira dos Andes ao sul do Chile. Alguns são excepcionalmente intensos e provocam o chamado fenômeno da friagem, caracterizada por forte umidade específica e relativa, acompanhada de chuvas frontais e sucedidas por tempo bom e expressiva queda de temperatura (BRINGEL, 2006).

As massas de ar que constituem os sistemas de circulação atmosférica correspondem a volumes de atmosfera que cobrem extensas áreas e apresentam características de homogeneidade horizontal de temperatura e umidade. Essas massas são criadas principalmente no seio das circulações anticiclônicas, que se verificam nos cinturões de alta pressão subtropical e polar. Por fim, o ar circula lentamente sobre extensas regiões que apresentam propriedades uniformes, adquirindo, gradualmente, características de temperatura e umidade das referidas regiões.

As massas de ar são classificadas segundo a região geográfica de suas origens e das características térmicas. Assim, do ponto de vista da origem geográfica, podem se classificar em Equatorial (E), Tropical (T), Polar (P) e Antártida(A), e ainda podem ser marítima (m) e continental (c). Já do ponto de vista térmico, as massas de ar podem ser massas de ar frias (k) ou massas de ar quente (w) (RAMOS *et al.*, 1989).

A precipitação na região Amazônica é uma composição da quantidade de água evaporada localmente (evapotranspiração), adicionada de uma contribuição de água advinda do Oceano Atlântico. Dessa maneira, pode-se estimar que aproximadamente 50% do vapor de água que precipita pelas chuvas é gerado localmente pela evapotranspiração, sendo o restante importado para a região pelo fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico (SDS, 2005).

A bacia Amazônica recebe precipitações médias anuais entre 2.300 e 2.460 mm.ano⁻¹. Na parte Brasileira, a distribuição sazonal das precipitações regionais individuais dá-se segundo regimes diferentes. Na porção da bacia que ocupa o hemisfério norte (Bacia do Rio Negro), o máximo pluviométrico é observado nos meses de maio a julho (FREITAS, 2006). Já na parte sul da bacia, localizada na Bolívia, a distribuição de chuvas depende do movimento das principais massas de ar na América do Sul e do papel orográfico dos Andes. As chuvas apresentam uma distribuição sazonal homogênea, cuja estação chuvosa tem início em dezembro e fim em março (ROCHE, *et al.*, 1992).

Na planície adjacente aos Andes bolivianos, os valores de precipitação crescem de 600 mm ao sul até 2000 mm ano⁻¹ na direção norte, mas, um pouco antes desta planície e sobre o primeiro relevo dos Andes, são observadas precipitações de mais de 6000 mm ano⁻¹. Na parte ocidental, equatorial da bacia, e principalmente sobre os contrafortes dos Andes peruanos, equatorianos e colombianos, o regime sazonal das precipitações é caracterizado por uma distribuição bimodal (JOHNSON, 1976). A

seguir, é apresentada a carta de precipitações médias da bacia Amazônica (Figura 2.3).

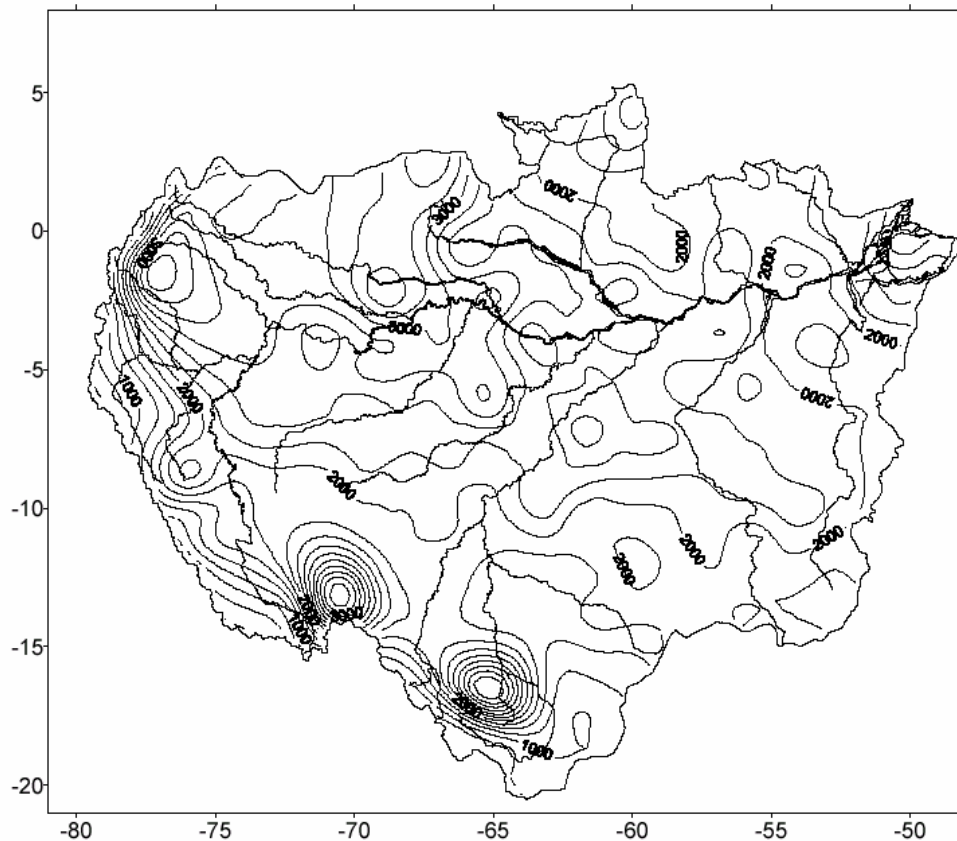


Figura 2.3 - Chuvas médias da bacia Amazônica
Fonte - FILIZOLA *et al.* (2002)

Outro fator importante no clima na bacia Amazônica é o evento de “El Niño” (ENSO), que impacta fortemente o regime pluviométrico na região. Nos anos sob influência do El Niño, observa-se uma tendência de redução de chuvas ao norte, centro e leste da Amazônia, assim como na região Nordeste do Brasil.

Segundo MARENGO (1991), nos anos de El-Niño muito intenso, como em 1925-26, 1976-77 ou 1982-83, a precipitação do verão foi mais baixa que nos anos normais sobre o norte da Amazônia, resultado que também se observa nos níveis de água excepcionalmente baixos dos rios Negro e Amazonas. O ENSO de 1982-1983 foi um dos mais intensos e afetou o tempo e clima da América do Sul de várias maneiras. No caso da região Amazônica, esse episódio provocou um período extremamente seco

(janeiro/fevereiro) durante a estação chuvosa na Amazônia Central. Este período foi caracterizado por possuir o menor índice pluviométrico nos últimos 50 anos. Em Manaus (AM), por exemplo, o total mensal de precipitação foi nulo, época em que a normal climatológica apresenta um valor superior a 300 mm (SDS, 2005)

Hidrografia: A bacia é drenada por uma densa rede de cursos de água de variadas dimensões. A descarga líquida média da bacia Amazônica é estimada em 209.000 m³s⁻¹. Do ponto de vista hidrológico, aproximadamente 65% do total da descarga líquida da bacia que se dirige ao Oceano Atlântico tem origem nas sub-bacias dos rios Solimões e Madeira. Essas bacias têm origem nos Andes e compõem cerca de 60% da superfície terrestre total da bacia Amazônica. As maiores demandas de água ocorrem nas sub-bacias do Madeira, Tapajós e Xingu, nas quais a irrigação representa 90% do uso da água. A bacia Amazônica é uma grande exportadora de sedimentos devido à erosão gerada pelos rios andinos no processo de escavação dos seus próprios leitos; o aporte médio de sólidos em suspensão do rio Amazonas ao Oceano é estimado em cerca de 600 milhões de toneladas por ano.

Segundo a classificação feita por SIOLI & KLINGE (1965, apud GUYOT, 1993), destacam-se três tipos de águas nos rios da bacia, baseando as cores nos aspectos da estrutura geológica e pedológica da origem dos rios. Dessa forma, são observadas águas brancas e semi-barrentas, águas claras e águas pretas.

Águas brancas e semi-barrentas são encontradas, principalmente, nos rios Solimões, Amazonas, Juruá, Purús, Javari, Madeira, que têm origem nos Andes, onde de forma geral, os rios são geologicamente jovens e ainda estão escavando o seu próprio leito e, conseqüentemente, promovem um elevado grau de erosão fluvial. As suas águas são altamente turvas, de cor amarela a ocre, e carregam muito material em suspensão proveniente de materiais vulcânicos ricos em nutrientes (GOULDING *et al.*, 2003).

Os rios de água preta são encontrados, geralmente, na bacia do rio Negro e Urubu, e têm ocorrência dominante nos sistemas de terra firme onde predominam os solos

arenosos. As grandes quantidades de areias encontradas na Amazônia central, em particular na bacia do rio Negro, foram transportadas durante centenas de milhões de anos a partir da erosão do escudo das Guianas (GOULDING *et al.*, 2003). A cor preta das águas vem de compostos metabólicos, produzidos por uma vegetação chamada de campina e campinarana, que cresce em solos arenosos. (BOECHAT *et al.*, 1998, apud MASSON, 2005).

Entre os rios de água clara, destacam-se os rios Trombetas, Tapajós, Xingu, que têm origem geralmente nos escudos brasileiro e das guianas, onde o processo de erosão gera poucas partículas em suspensão, deixando as águas transparentes. (GOULDING *et al.*, 2003). Na Figura 2.4 é apresentada a classificação de águas na Amazônia.

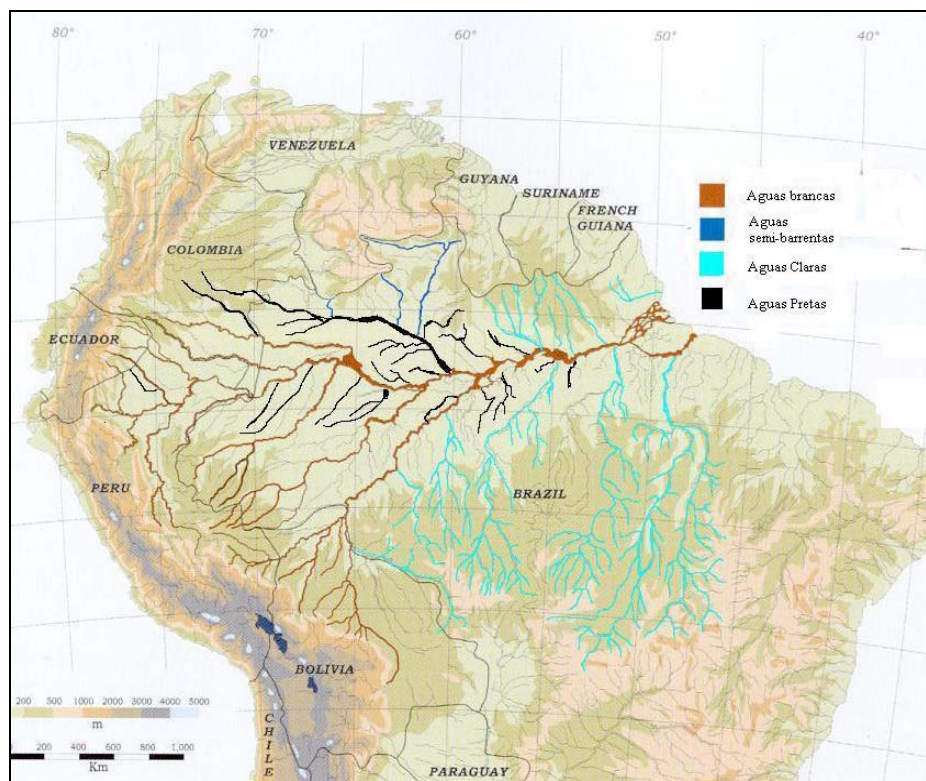


Figura 2.4 - Classificação de águas na Amazônia
Fonte - (MASSON, 2005 adaptado de GOULDING *et al.*(2003)

2.2 - Classificação de bacias

O presente trabalho aborda como estudo de caso a bacia do rio Madeira, que consiste numa bacia transfronteiriça. Dessa forma, serão descritos, a seguir, os principais

métodos de classificação de bacias adotados no Brasil e na Bolívia, onde se encontra a maior parte da bacia.

Na Bolívia, a bacia do rio Madeira representa 99,7% da bacia Amazônica boliviana (MATTOS & CRESPO, 2000), motivo pelo qual, neste estudo, a bacia do Madeira (em território boliviano) será representada pela bacia Amazônica boliviana.

A Bolívia está dividida em três grandes bacias hidrográficas: a bacia Amazônica, a bacia do Prata e a bacia Endorreica. Esta divisão geralmente é adotada na maioria dos textos e livros. No entanto, esta divisão é muito geral; para outros fins, é importante um refinamento na organização espacial das bacias.

Existem diferentes classificações na Bolívia que sub-dividem as bacias acima mencionadas. Neste trabalho, será destacada a classificação mais utilizada no país, realizada por ROCHE *et al.* (1992) e pelo Instituto Geográfico Militar IGM (1998). Após a primeira divisão das três grandes bacias no país, cada uma destas é dividida em sub-bacias. A grande bacia Amazônica é sub-dividida então, em sete sub-bacias: Madre de Dios, Beni, Orthon, Mamoré, Itenez-Guaporé, Parapeti-Izozog e Abuná como se observa na Figura 2.5.

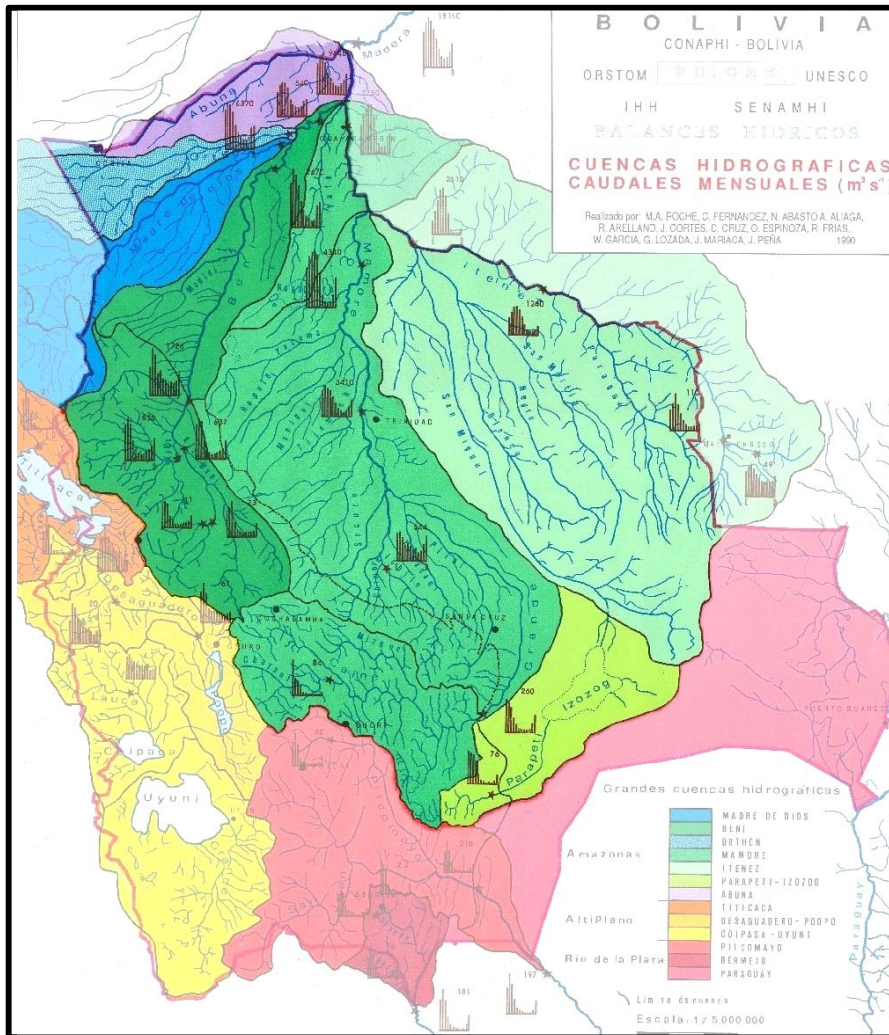


Figura 2.5 - Mapa de sub-divisão da bacia Amazônica boliviana
Fonte - ROCHE, et al. (1992)

No território brasileiro, os principais métodos de classificação de bacias adotados são descritos a seguir:

Classificação adotada pelo DNAEE¹/ANNEE - No início da década de 70 foi criado na DNAEE, o Sistema de Informações Hidrológicas – SIH, que possibilita o tratamento informatizado dos dados hidrológicos. Para ampliar e aperfeiçoar este serviço, criou-se o Projeto Hidrologia, onde se dividiu o país em oito grandes bacias, ou regiões hidrográficas e, ao mesmo tempo, cada uma delas era sub-dividida em dez sub-bacias, objetivando principalmente a codificação de estações fluviométricas.

¹ Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), órgão extinto e substituído pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

Com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), em janeiro de 2002, a ANEEL, efetuou a transferência das atribuições do planejamento e operação da rede nacional para a ANA repassando toda a infra-estrutura correspondente. Atualmente, a ANA opera a rede hidrométrica nacional seguindo a classificação de bacias hidrográficas da DNAEE/ANNEEL (GALVÃO & MENEZES, 2005). Com base nesta classificação, a bacia do rio Amazonas é a bacia número 1 (nível 1) e a sub-bacia do rio Madeira representa a bacia número 15 (nível 2).

Classificação adotada pela SRH²/Ottobacias Uma outra divisão hidrográfica foi desenvolvida pelo engenheiro Otto Pfafstetter, usando um método de subdivisão e codificação; com esse método foi possível caracterizar com maior consistência as bacias hidrográficas do continente sul-americano. O método é descrito no quadro a seguir, segundo a Resolução 30/2002 (CNRH, 2003).

² Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente.

O engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter desenvolveu um método de subdivisão e codificação de bacias hidrográficas utilizando algarismos diretamente relacionado com a área de drenagem dos cursos de água (Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação. Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989. p. 19.). Em 1998, a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente coordenou um trabalho de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras segundo a referida metodologia, em nível de detalhe compatível com a escala da base utilizada, 1:1.000.000. A metodologia foi aplicada da seguinte forma: aplicação de código às quatro maiores bacias hidrográficas identificadas que drenam diretamente para o mar, sendo-lhes atribuídos os algarismos pares 2, 4, 6 e 8, seguindo o sentido horário em torno do continente. As demais áreas do continente foram agrupadas em regiões hidrográficas sendo-lhes atribuídos os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9, de tal forma que a região hidrográfica 3 encontra-se entre as bacias 2 e 4, a região hidrográfica 5 encontra-se entre as bacias 4 e 6, e assim sucessivamente. Como forma de equacionar a aplicação de código na região hidrográfica que drena para o lago Titicaca, foi atribuído o algarismo zero para a mesma. Isto determina a subdivisão de nível 1 do continente. De posse da codificação continental, apresentando 10 regiões hidrográficas (nível 1), uma nova subdivisão foi realizada a fim de obter-se o nível 2 de bacias para o continente. Para tanto, assume-se como foz o ponto de descarga (exutório) da bacia a ser dividida. A análise é realizada sempre da foz para montante, identificando todas as confluências e distinguindo o rio principal de seus tributários. O rio principal é aquele curso de água que drena a maior área, enquanto os tributários são os demais afluentes que drenam áreas menores. A codificação da subdivisão da área drenada por um rio principal requer primeiramente a identificação dos quatro maiores tributários, de acordo com o critério da área drenada, classificados como bacias e que recebem, adicionalmente ao código aplicado no nível 1, os algarismos pares 2, 4, 6, e 8, na ordem em que são encontradas de jusante para montante, ao longo do rio principal. Em seguida, os demais tributários do rio principal são agrupados nas áreas restantes, classificados como regiões hidrográficas, que recebem, adicionalmente ao código aplicado no nível 1 e na ordem em que são encontradas de jusante para montante ao longo do rio principal, os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9.

Assim, a bacia Amazônica é denominada bacia número 4 (nível 1), a bacia do rio Madeira é denominada bacia número 6 (nível 2), e as nove bacias internas (nível 3) são representadas com os números correspondentes de 1 a 9. Neste caso, a

representação para a bacia do Madeira seria 46 em nível 2 e 461, 462, 463 e assim por diante para as bacias internas em nível 3 (Figura 2.6).

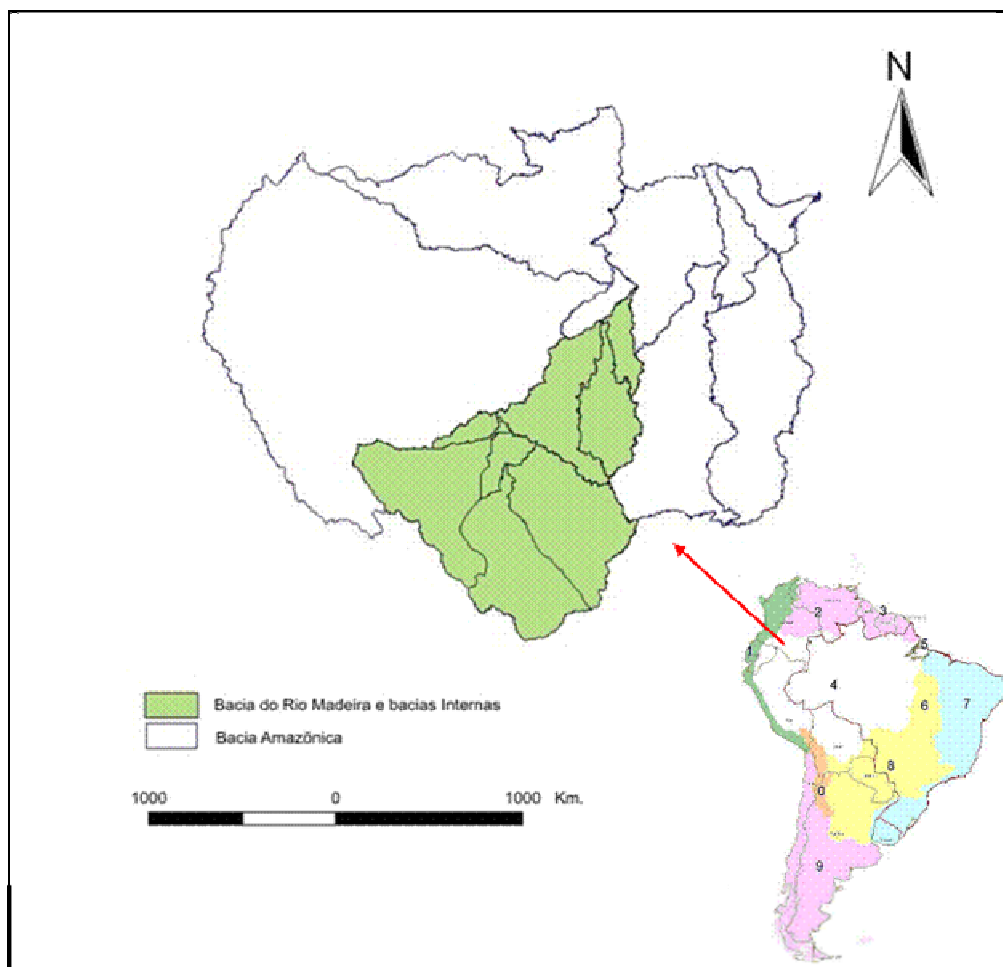


Figura 2.6 - Classificação das bacias segundo Otto Pfafstetter
Fonte – A partir de dados do GEOAMAZONAS (2006)

Neste trabalho, o método de classificação usado, como base para o respectivo desenvolvimento, foi o método das Ottobacias, ou método de Otto Pfafstetter.

2.3 - Localização da bacia do rio Madeira

A bacia do rio Madeira é a segunda maior sub-bacia da bacia Amazônica, com uma área aproximada de 1.370.000 km², representando 23% do total da bacia Amazônica. A bacia do rio Madeira localiza-se entre os paralelos 2 e 20 sul e os meridianos 56 e 71 Oeste. Esta bacia estende-se por três países da América do Sul, Bolívia (51%),

Brasil (42%) e Peru (7%) (GUYOT, 1993). Na Figura 2.7 observa-se a localização da bacia do rio Madeira.

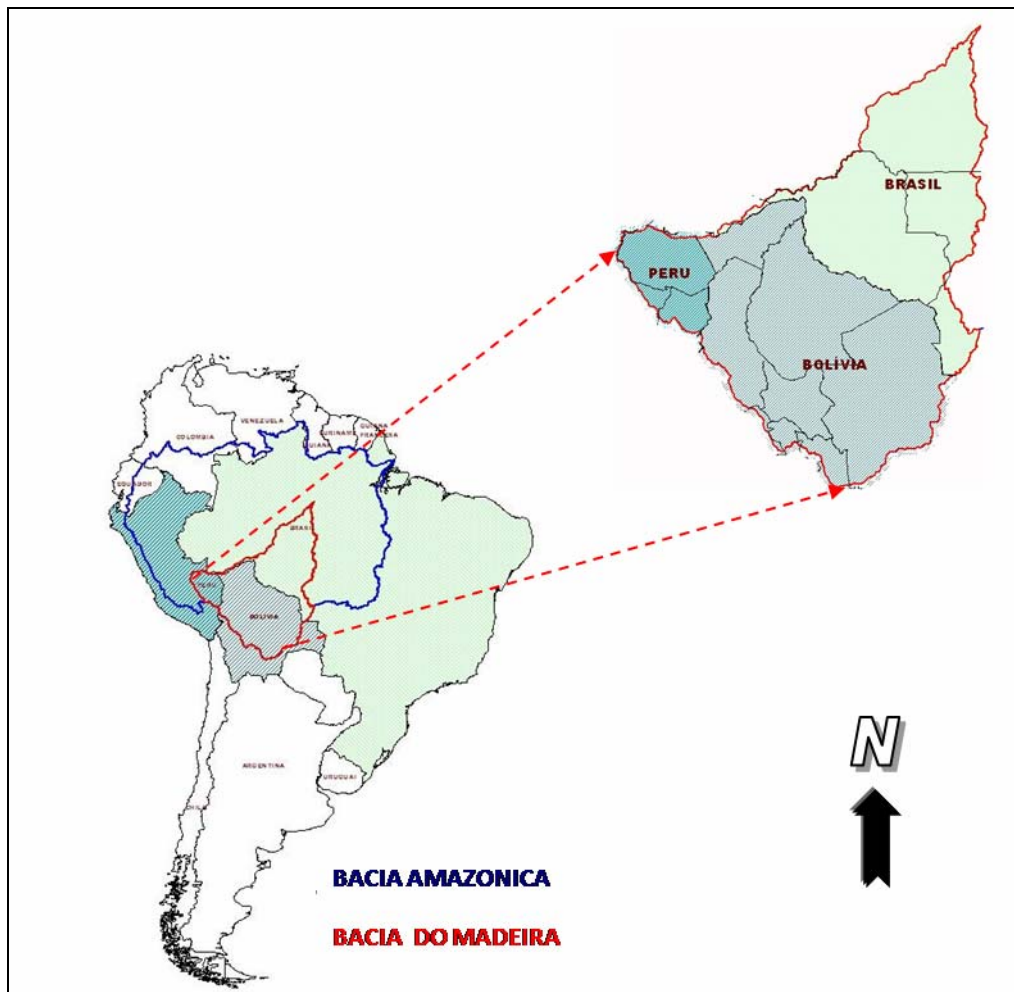


Figura 2.7 – Localização da bacia do rio Madeira
Fonte – A partir de dados do GEOAMAZONAS (2006)

2.4 - Características físicas da bacia do rio Madeira

A Geomorfologia e o relevo:

A bacia do rio Madeira apresenta três grandes unidades morfo-estruturais: a cordilheira dos Andes, a planície Amazônica e o escudo brasileiro; Este último, por sua vez, divide a planície Amazônica em duas: a planície de montante e a planície de jusante sendo que, esta última faz parte da planície Amazônica, enquanto a planície de montante está isolada pelos afloramentos pré-cambrianos do escudo brasileiro, vestígios de uma antiga linha de partição de águas entre o Atlântico e o

Pacífico (GRABERT, 1967, 1971 apud, GUYOT, 1993). Dessa maneira, formam-se quatro unidades morfo-estruturais (Andes, planície a montante, escudo brasileiro, planície a jusante), que ocupam respectivamente 15%, 33%, 41%, 11% da totalidade da bacia do rio Madeira. Nos Andes, onde os cumes se elevam até cerca de 6400 metros (Illimani, Illampu), fecham a bacia na direção sudoeste (GUYOT, 1993).

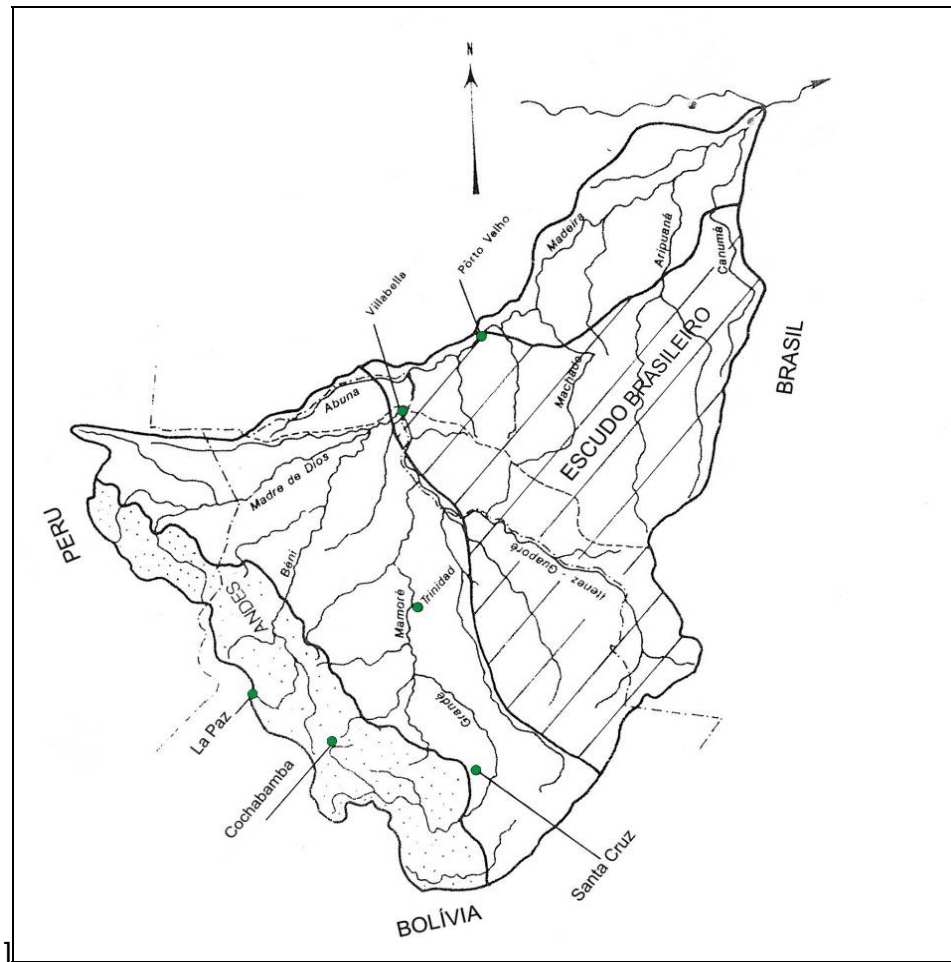


Figura 2.8 - Unidades Morfo-estruturais da bacia do Rio Madeira
Fonte - GUYOT (1993)

O relevo da bacia é muito variado, passando desde grandes altitudes dos cumes da cordilheira andina (6400 metros), por vales profundos até a planície Amazônica (500 metros).

Os Andes estão formados por duas cordilheiras: a cordilheira ocidental e a cordilheira Oriental. Distinguimos vários subconjuntos geológicos, herança da história geológica

dessa cadeia montanhosa. A cordilheira ocidental está constituída por uma sucessão de vulcões e não faz parte da bacia Amazônica. Entre a cordilheira ocidental e a cordilheira oriental, encontra-se o Altiplano, uma vasta depressão de mais de 1.000 km de longitude e 250 km de largura (GUYOT, 1993). O altiplano é uma planície composta principalmente por depósitos procedentes da erosão hídrica e eólica das montanhas vizinhas (VAN DAMME, 2002). Ao leste dos Andes, diferencia-se o sub-andino, formado principalmente por serranias, colinas e vales, que se estendem desde o Peru até a Argentina. As serranias apresentam um relevo alto a moderadamente alto, com ladeiras inclinadas a bem inclinadas com altitudes inferiores a 2.500 metros (SENAMHI,1999).

A planície Amazônica é denominada “llanos” na Bolívia ou planície Chaco-Béni, esta localizada entre os Andes e o escudo brasileiro e apresenta um relevo baixo plano, às vezes suavemente ondulado.

O escudo brasileiro corresponde ao arqueamento de uma superfície de erosão terciária entalhada nas suas bordas por vales aluviais quaternários. O relevo desta região é caracterizado pela existência de um planalto cuja altitude máxima aproximada é de 550 metros, atingindo de 150 até 300 metros nas bordas. Apresenta algumas relíquias de uma superfície de erosão mais antiga, (Serrania Huancachaca), que podem chegar até 950 metros de altitude (GUYOT, 1993).

Na Figura 2.9 é apresentado primeiro um perfil com as principais províncias fisiográficas da bacia Amazônica boliviana, que se estende desde os Andes até o escudo brasileiro. A Figura 2.10 representa a curva hipsométrica desde os Andes até a localidade de Villabella. Nessa figura, observa-se claramente que quase 80% da bacia do rio Madeira até essa localidade apresenta uma altitude menor do que 500 metros.

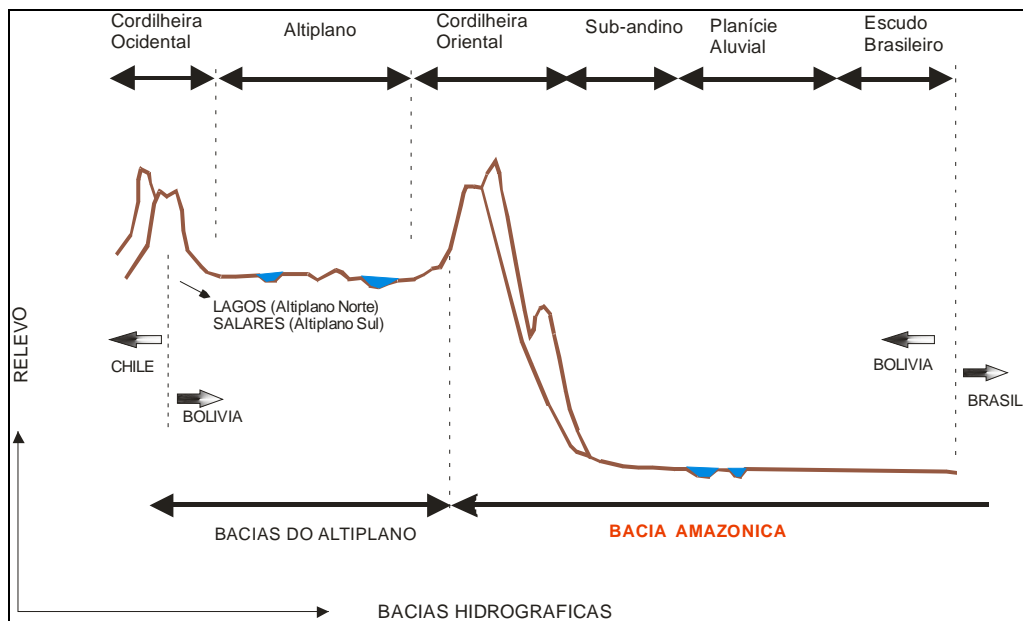


Figura 2.9 - Principais regiões fisiográficas da bacia Amazônica boliviana
Fonte - Adaptado de VANDAME (2002)

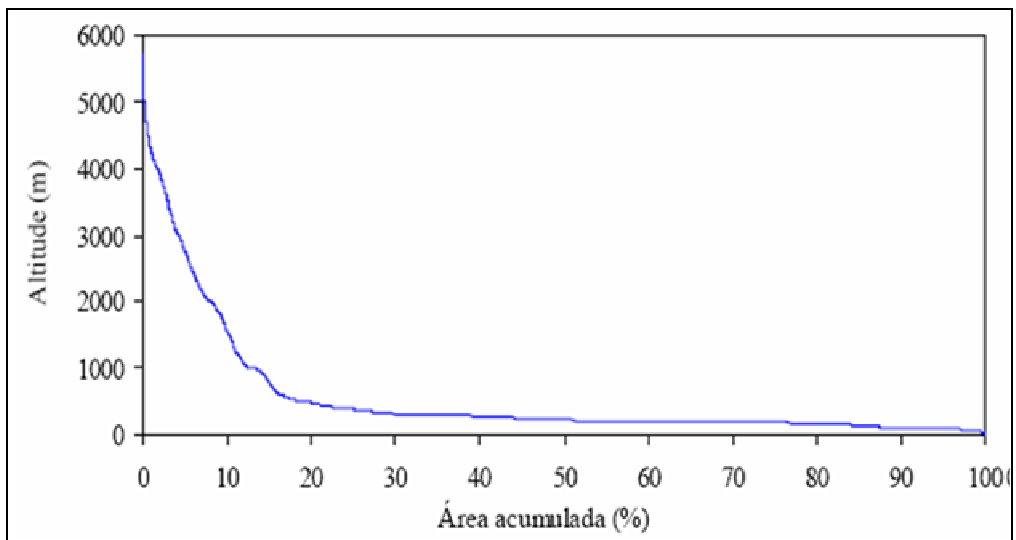


Figura 2.10 Relevo da bacia do rio Madeira até Villabella
Fonte - GUYOT (1993)

O rio Madeira é um rio encaixado na falha regional denominada Madre de Dios-Itacotiara, que condiciona toda a evolução quaternária do seu leito. Desde as nascentes, predominam, em sua calha e áreas adjacentes, as coberturas sedimentares de idade terciária e quaternária (inferior a 65 milhões de anos de idade). A natureza desses sedimentos é bastante variada, incluindo lateritos, cascalhos, areias, siltes e argilas (SOUZA & ARAUJO, 2001, apud MASSON, 2005)

O rio Madeira é considerado um rio novo que na busca do seu perfil de equilíbrio, apresenta expressivos depósitos de sedimentos inconsolidados subrecentes, que formam ilhas ou margeiam o seu leito. Observam-se grandes variações no seu curso, como a erosão de dezenas a centenas de metros das margens, o desaparecimento de ilhas e o preenchimento de canais, este fenômeno de deslocamento do rio constitui uma ameaça constante a varias localidades.

A Hidrografia da Bacia

O rio Madeira, o maior afluente meridional do rio Amazonas, é o único rio Amazônico que drena, ao mesmo tempo, a cordilheira dos Andes, o escudo brasileiro e a planície Amazônica. A largura do rio Madeira varia de 440 a 9.900 metros, e sua profundidade, em alguns trechos, ultrapassa 13 metros. Em território brasileiro, passando as cachoeiras, em locais com grandes profundidades, o rio Madeira permite a navegação, até mesmo, de navios de grande calado.

Em território boliviano, os afluentes principais do rio Madeira na margem esquerda são os rios Mamoré, Abuná, Arroyo, La Gran Cruz e o rio Beni. Em seus 98 km de percurso na Bolívia e em parte do denominado escudo brasileiro, o rio Madeira não é navegável devido às numerosas cachoeiras existentes no trecho. Ao ingressar no território brasileiro, o rio Madeira torna-se o principal afluente do rio Amazonas, (margem direita), tendo como tributários mais importantes os rios dos Araras e Ribeira, em sua margem direita (MATTOS & CRESPO, 2000).

Na localidade de Villabella, na fronteira entre o Brasil e a Bolívia, o rio Madeira drena uma área aproximada de 903.500 km², dos quais 25% se encontram nos Andes, 27% no escudo brasileiro e 48% nos “Llanos” (planície Amazônica da Bolívia) cobrindo um total de 66% de toda a bacia do rio Madeira (GUYOT, 1993).

O rio Madeira, que tem suas nascentes na Bolívia, é formado pelas confluências de quatro grandes rios: o rio Madre de Dios (125.000 Km²), rio Beni (122.400 Km²), rio

Mamoré (222.100 Km²) e o rio Itenez (303.300 km²). A confluência dos rios Madre de Dios e Beni continua como rio Beni, enquanto a confluência dos rios Mamoré e Itenez continua como rio Mamoré, e finalmente a confluência destes dois rios, Beni (283.000 km²) e Mamoré (567.000 km²) forma o rio Madeira em questão (ROCHE *et al.*,1992) como se observa na Figura 2.11.

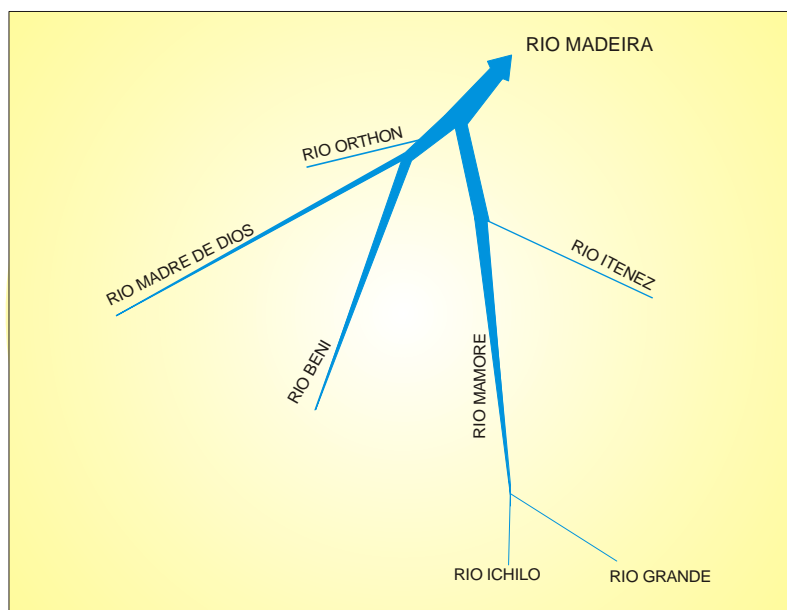


Figura - 2.11 Esquema dos formadores do rio Madeira
Fonte - Adaptado de GUYOT (1993)

O rio Beni é um dos maiores afluentes do rio Madeira, nasce nas geleiras de Chacaltaya, com o nome de rio Achachicala, numa altitude aproximada de 5.395 metros acima do nível do mar, passa pela cidade de La Paz, com o nome de Choqueyapu, e depois como rio La Paz, até chegar na confluência com o rio Cotacajes. A partir dessa confluência, recebe o nome de rio Alto Beni, continua na direção norte, recebendo as águas do rio Kaka. Depois desta confluência, recebe o nome definitivo de rio Beni até sua confluência com o rio Madre de Dios. (TORRICO, 1985). Os principais afluentes pela margem esquerda são os rios: Orthon, Madre de Diós, Madidi, Emero, Tuichi e Kaka enquanto pela margem direita, são os rios Geneshuaya, Biata, rio Negro e Alto Beni.

As águas do rio Beni apresentam um escoamento turbulento nas zonas montanhosas. No seu curso médio, o rio também apresenta declividades acentuadas que, devido a formações geológicas em alguns trechos (cachoeiras), constituem restrições para a navegação.

O rio Mamoré é um dos rios mais importantes da bacia Amazônica boliviana. O rio Grande, um dos seus tributários, recebe os primeiros aportes do rio Mamorecillo (rios Ichilo e Chapare). Com a contribuição dos outros tributários, a vazão do Rio Mamoré aumenta progressivamente. Finalmente, com os aportes do rio Itenez ou Guaporé, o rio Mamoré atinge uma vazão da mesma ordem que a do rio Beni (GUYOT, 1993). Os afluentes mais importantes são os rios, Itenez ou Guaporé, Ichilo, Grande, Chapare, Secure, Tijamuchi, Apere, Yacuma e Yata.

O rio Guaporé, afluente do rio Mamoré, nasce no Mato Grosso a 1.800m de altitude. Ele drena o escudo brasileiro e a planície boliviana e faz seu percurso pelas fronteiras entre o Brasil e a Bolívia até a sua foz no rio Mamoré. A sua largura varia de 150m a 712m.

O rio Madeira é o mais importante tributário do rio Amazonas, na parte sul da bacia Amazônica, com uma descarga média anual de $31.200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (MOLINIER *et.al.*, 1997). A vazão que o rio Madeira recebe dos seus tributários na localidade de Villabella (fronteira com Brasil) foi estimada em $17.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (um volume interanual de $536 \times 10^9 \text{ m}^3$), dos quais aproximadamente 53,2% pertencem ao rio Beni e 47,7% ao rio Mamoré. Esta vazão é certamente superior ao do rio europeu Volga ($252 \times 10^9 \text{ m}^3$) que, por sua vez, é comparável com o rio Mamoré ($256 \times 10^9 \text{ m}^3$), mas, inferior ao rio Beni ($280 \times 10^9 \text{ m}^3$).

Desde as suas nascentes, o rio Madeira situa-se entre os maiores rios do mundo³, com uma vazão superior ao do rio Ob ($390 \times 10^9 \text{ m}^3$) e do Ganges ($488 \times 10^9 \text{ m}^3$). A vazão do rio Madeira aproxima-se à vazão dos seguintes rios: Lena ($514 \times 10^9 \text{ m}^3$); Yensei ($542 \times 10^9 \text{ m}^3$); Mekong ($577 \times 10^9 \text{ m}^3$); Missisipi-Missouri ($580 \times 10^9 \text{ m}^3$) e Bramaputra ($608 \times 10^9 \text{ m}^3$). Somente lhe são certamente superiores em vazão os rios: Orinoco ($946 \times 10^9 \text{ m}^3$); Prata ($725 \times 10^9 \text{ m}^3$); Yang Tse Kiang ($1104 \times 10^9 \text{ m}^3$) e Congo ($1200 \times 10^9 \text{ m}^3$) (ROCHE *et al.*, 1992).

O sistema hidrográfico do rio Madeira é caracterizado por três trechos marcantes: 1) O alto Madeira é uma zona que pertence principalmente a bacia do Madeira boliviana, constituída pelos rios formadores do Madeira, sendo difícil determinar qual deles pode ser considerado como o principal; o maior em comprimento é o rio Mamoré (1100 km), porém o mais caudaloso é o rio Beni. Este trecho é caracterizado principalmente pela diferença do relevo que vem desde os Andes para a planície Amazônica; 2) O trecho das cachoeiras, localizado entre a cidade de Guajará-Mirim e Porto Velho, na cachoeira de Santo Antônio, é um trecho com aproximadamente 360 km e com um desnível total de 70 m, apresentando ao longo desse curso, 18 cachoeiras ou corredeiras que dificultam a navegação; 3) O último trecho, denominado baixo Madeira, começa logo depois da cachoeira de Santa Antônio até a foz no rio Amazonas, é um trecho com traçado retilíneo a sinuoso com um comprimento de 1.100 km e aproximadamente 19 m de desnível total, ou seja, uma declividade de 1,7 cm/km; este trecho é navegável durante todo o ano. Pela margem direita, neste trecho, o rio Madeira recebe contribuições dos rios Jamari, Ji-paraná ou Machado e Aripuanã.

³ Rio Ob: Rússia; rio Ganges: Índia; rio Lena: Sibéria; rio Yensei: Rússia; rio Mekong: Sudeste Asiático; rio Missisipi-Missouri: América do Norte; rio Bramaputra e rio Yang Tse Kiang: Ásia; rio Orinoco e rio Prata: América do Sul; rio Congo: África.

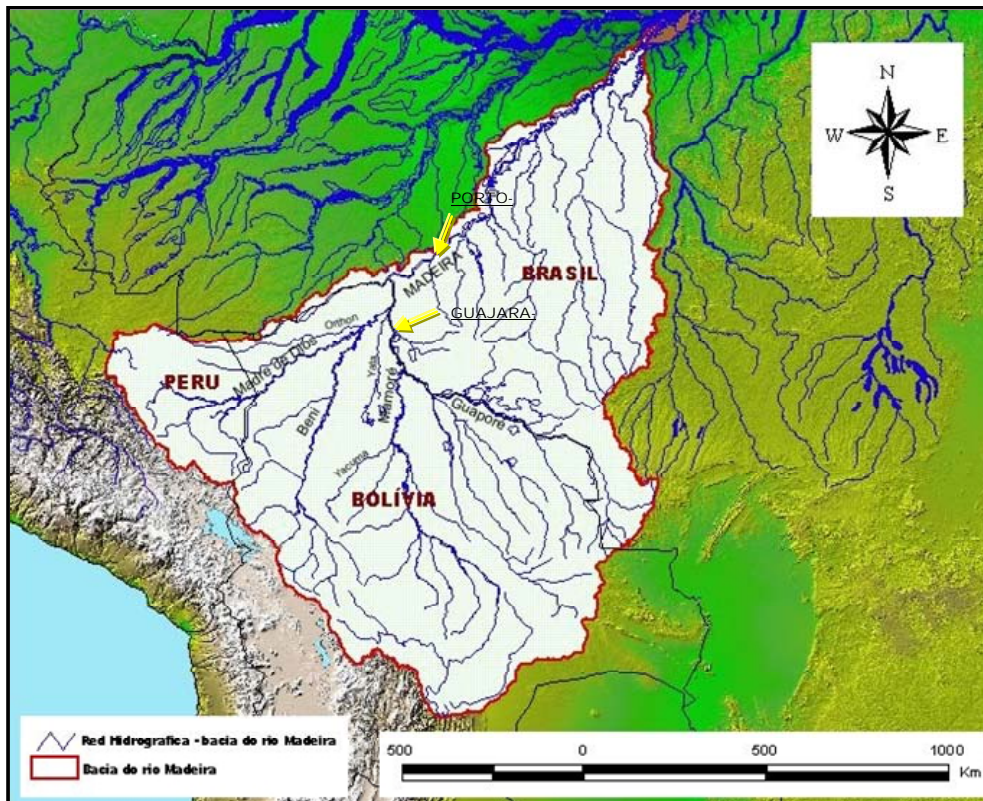


Figura 2.12 - Mapa hidrográfico da bacia do rio Madeira.
Fonte - A partir de dados do GEOAMAZONAS (2006)

O rio Madeira é um rio de água branca, devido aos seus formadores andinos, com os seus ambientes associados de várzeas, igapós e lagos. A descarga sólida do rio Madeira, vinda das cabeceiras andinas dos rios Mamoré, Beni e Madre Dios, é a maior fonte de sedimentos na bacia Amazônica. Ele traz mais de um $\frac{1}{4}$ da matéria em suspensão carregada pelo rio Amazonas. A parte Andina da bacia do rio Madeira exporta anualmente cerca de 5×10^8 toneladas de sedimentos. Na entrada ao Brasil, na localidade de Villabella (Novo Mamoré), o rio Madeira possui um fluxo global de material de $2,3 \times 10^8$ toneladas/ano (GUYOT, 1993). Deste total, 15% é constituído por material dissolvido e 85% por material particulado (sedimento em suspensão e de leito). Do material particulado, cerca de 2% é material de leito (transporte de sedimento por saltação e/ou arraste), o restante é transportado em suspensão.

Apesar do rio Madeira constituir geograficamente um tributário importante, dados granulométricos dos sedimentos são extremamente limitados para sedimentos de

leito e totalmente deficientes para sedimentos suspensos. Segundo GUYOT *et al.* (1999), um primeiro entendimento em relação a composição granulométrica de sedimentos de leito e suspensos na bacia de drenagem, na parte boliviana do rio Madeira, indicou uma clara e repentina distinção entre os Andes e a Planície (Llanos). Na área de transição ao pé do monte Andino, distingue-se uma área de depressão, que é zona de acumulação preferencial da matéria grossa de origem Andina. Somente as partículas finas são transportadas para o Amazonas, com as planícies de inundação jogando um papel de regulação na transferência. Este fato explica a homogeneidade granulométrica dos sedimentos de leito e suspensos em grandes áreas dos rios, Beni e Mamoré.

O Clima na Bacia do rio Madeira

O clima de uma região é determinado por fatores denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera, a topografia local, a natureza da cobertura vegetal, o ciclo hidrológico e a influência de correntes oceânicas, se a região for costeira. A circulação geral da atmosfera, que é uma consequência da distribuição latitudinal da energia solar e da distribuição assimétrica de continentes e oceanos, impõe as características gerais do clima regional. O ciclo hidrológico não é só um componente do clima, mas também da paisagem biogeofísica. Sua influência no clima não se resume apenas às interações entre a umidade atmosférica, precipitação e escoamento superficial, deve-se levar em conta, também, as grandes quantidades de energia que são absorvidas e liberadas durante os processos de mudança de fase sofridos pela substância água (MOLION, 1987).

O clima na bacia do rio Madeira, assim como na bacia Amazônica, está condicionado, principalmente, a ação dos seguintes sistemas de circulação atmosférica:

- sistema dos anticiclones subtropicais do Atlântico Sul, soprando de leste, e do

anticiclone dos Açores soprando do Nordeste que, como já mencionado, são acompanhados de tempo estável, quente e úmido, relativo ao período de menor incidência de chuvas;

- sistema representado por formação de depressões barométricas no interior dessas massas de ar equatorial, devido à baixa latitude e forte conteúdo de radiação solar, capaz de gerar zonas de instabilidade, com chuvas intensas acompanhadas de fortes ventos e descargas elétricas, que caracterizam as chamadas chuvas de verão (SALATI 1987, apud MASSON, 2005).

- sistema de norte, da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

- sistema de sul, correspondente ao anticiclone polar com influência de frentes frias e massas de ar polar, que provocam temperaturas baixas, e podem causar chuvas intermitentes e ventos sul-norte com velocidades médias de 35 km/h (em torno do mês de agosto)

Esses três últimos sistemas de circulação atmosférica, responsáveis pela instabilidade e chuvas, são dominantes na região, determinando os índices pluviométricos elevados característicos da bacia. .

Um outro sistema de circulação atmosférica que influi sobre o regime pluviométrico da região da bacia do rio Madeira, e também no nordeste do Brasil, é o anticiclone da Alta da Bolívia (AB) (MASSON, 2005). Esse sistema forma-se em alto nível da troposfera, durante os meses de verão, associado com a forte convecção da região Amazônica. Esse anticiclone é denominado assim, pois se situa sobre a região do altiplano boliviano. Durante a época de inverno, ocorre o enfraquecimento da AB, com o seu completo desaparecimento. A localização geográfica da AB possui variação intra-sazonal e inter-anual. Estudos recentes analisaram que na época de ENSO esse anticiclone posiciona-se, em geral, a oeste de sua posição climatológica. Também foi

observado por CARVALHO (1989) que, para o evento do ENSO 82-83, a atividade convectiva e precipitação na Amazônia diminuíram.

A distribuição de chuvas explica-se, muitas vezes, pela dinâmica das principais massas de ar ativas em parte de América do Sul, e pela influência da orografia dos Andes, tanto na escala continental quanto na escala de vales (ROCHE *et al.*, 1992).

A ocorrência das precipitações pluviométricas na bacia do rio Madeira varia geograficamente. Na região da bacia alta do rio Madeira (Bolívia), o comportamento sazonal é regular. A época de chuvas inicia-se em outubro ou novembro e termina em março ou abril, os meses de máxima precipitação são janeiro e fevereiro. A estação seca se produz no inverno nos meses de maio até julho (SENAMHI, 1999). O processo de circulação atmosférica condiciona o comportamento temporal das chuvas. Os meses de abril a setembro mostram uma diminuição de chuvas, produto dos padrões de comportamento meteorológico enquanto os meses mais úmidos estão associados ao verão compreendido entre dezembro e março.

As chuvas no início das regiões Amazônicas bolivianas, no pé do monte andino podem atingir mais de 6.000 mm. ano⁻¹. Este fato observa-se claramente no mapa de isoietas de chuvas médias interanuais realizado pelo “Programa climatológico e hidrológico de la cuenca Amazônica de Bolívia” PHICAB⁴. Na planície adjacente aos Andes, os valores vão aumentando em direção norte, desde 600 mm.ano⁻¹, ao sul, até 2000 mm.ano⁻¹, ao norte. Segundo o mapa de isoietas, a chuva vai aumentando em direção ao escudo brasileiro; na cordilheira oriental encontram-se zonas isoladas com chuvas inferiores aos 500 mm.ano⁻¹ (ROCHE *et al.*, 1990).

⁴ PHICAB: Programa realizado no marco dos acordos estabelecidos entre o Instituto Francês de Investigação Científica para o Desenvolvimento em Cooperação (ORSTOM); o Instituto de Hidráulica e Hidrologia da Universidade “Mayor de San Andrés” (IHH/UMSA) e o Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI)

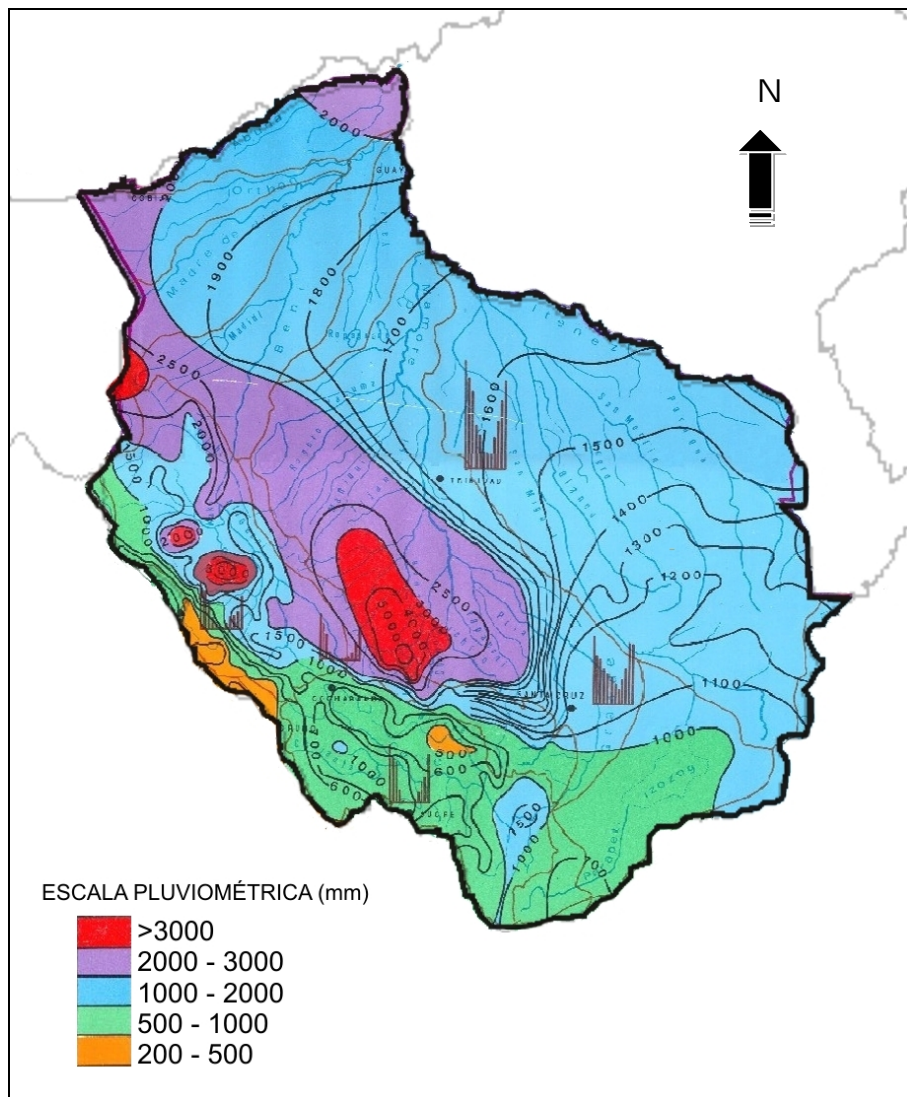


Figura 2.13 - Mapa de Isoietas da bacia Amazônica boliviana
Fonte - ROCHE *et al.*(1990)

Em relação às temperaturas atmosféricas da bacia do Madeira observa-se a seguinte distribuição;

A bacia do alto Madeira (Bolívia) apresenta as maiores temperaturas médias anuais nos Departamentos de Beni e Pando com 27° C entre os meses de dezembro a março com maior ênfase no mês de fevereiro. A temperatura mínima média anual é de 23° C.

No sopé da cordilheira oriental dos Andes, a temperatura chega até os 20° e vai decrescendo conforme a altitude até atingir 0 graus numa altitude de 5100 metros.

Na parte brasileira, o clima representa um clima tropical úmido de monção, caracterizado por exibir um longo período com precipitação pluviométrica elevada e uma curta estação seca (KÖPPEN,1948, apud MASSON, 2005).

Em Rondônia, que representa uma boa porção da bacia, o clima predominante é o tropical úmido e quente, durante todo o ano. Segundo a classificação de Köppen, o estado de Rondônia possui um clima do tipo Aw⁵ - Clima Tropical Chuvoso, com média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio, superior a 18°C (megatérmico), e um período seco bem definido durante a estação de inverno. Durante os meses de novembro a abril (período chuvoso), a precipitação mensal é superior a 200 mm/mês, enquanto que os meses de junho a agosto são extremamente secos chegando a uma precipitação menor que 20 mm/mês (FISCH *et al.*, 1997).

Assim mesmo, a precipitação pluviométrica em Rondônia é influenciada pelos diferentes fenômenos atmosféricos que atuam no ciclo anual da precipitação. A média anual das precipitações pluviométricas varia entre 1.400 e 2.500 mm/ano, e a média anual da temperatura do ar entre 24 e 26 °C. Em alguns anos, em poucos dias dos meses de junho, julho e/ou agosto, o estado de Rondônia encontra-se sob a influência de anticiclones que se formam nas altas latitudes e atravessam a cordilheira dos Andes em direção ao sul do Chile. Alguns destes anticiclones são excepcionalmente intensos, condicionando a formação de aglomerados convectivos que intensificam a formação dos sistemas frontais na região sul do país. Estes se deslocam em direção à região Amazônica, causando o fenômeno denominado de "friagem". Durante esses meses as temperaturas mínimas absolutas do ar podem atingir valores inferiores à 10° C. Devido a curta duração do fenômeno, este não influencia, significativamente, as médias climatológicas da temperatura mínima do ar. A média anual da temperatura do ar oscila em torno de 24°C e 26° C, com temperatura máxima entre 30°C e 34°C , e mínima entre 17° C e 23°C (DA SILVA, 1999). De acordo com o mapa de isoietas,

⁵ Aw : clima tropical com estação seca no período em que o Sol está mais baixo (está no hemisfério oposto) e os dias são mais curtos.

verifica-se que a precipitação média anual aumenta do sudoeste ao extremo norte, com valores inferiores a 1.400 mm e superiores a 2.500 mm, respectivamente, como se observa na Figura 2.14.

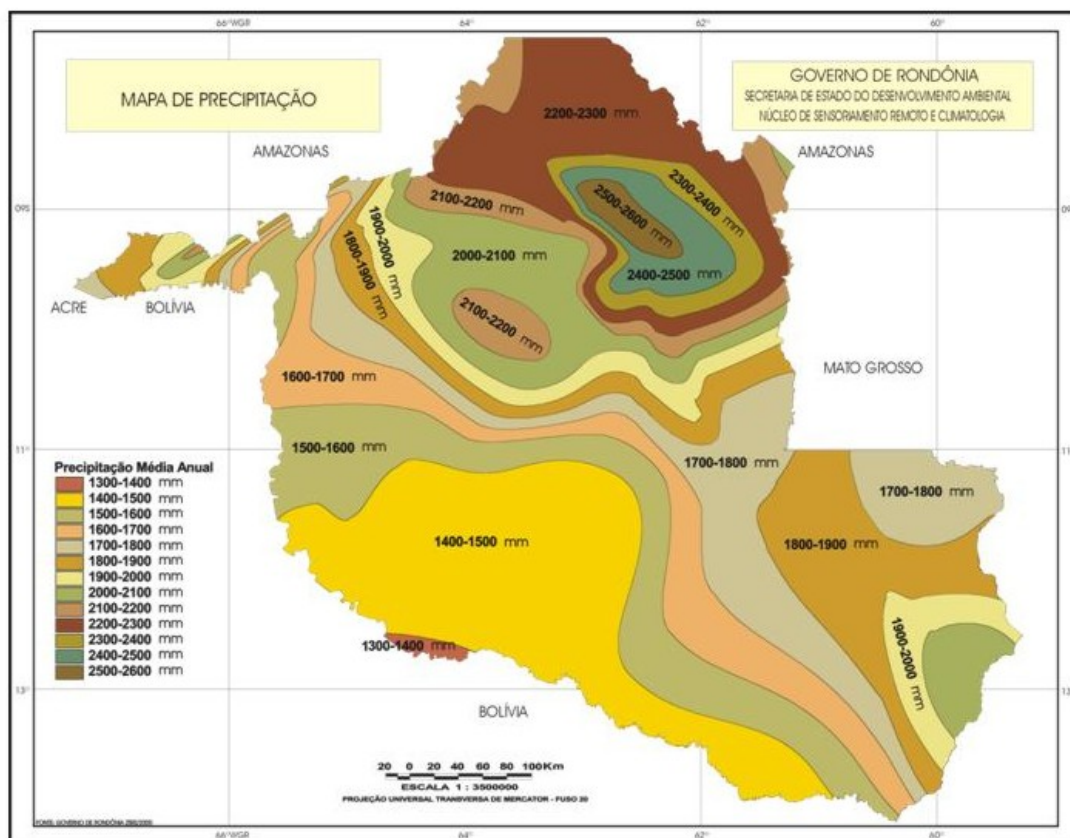


Figura 2.14 - Mapa de isoietas do estado de Rondônia
Fonte – SEDAM (www.sedam.ro.gov.br)

2.5 - Aspectos relevantes da bacia do rio Madeira

A bacia do rio Madeira, é uma bacia transfronteiriça, que se estende por três países diferentes. A demanda quantitativa de água é, como no resto da Amazônia, pouco significativa em relação à disponibilidade. Entretanto, não pode se esquecer que, a cada dia, são maiores os impactos ambientais que provocam alterações nos recursos naturais da bacia.

As mudanças regionais e globais têm provocado alterações no clima e na hidrologia, o que por sua vez, reflete-se na população da região. Esses impactos têm risco de aumentar com o desenvolvimento dos grandes projetos de importância estratégica, em

particular de hidroeletricidade, de expansão hidrovial e agrícola, com um conjunto de conseqüências diretas e indiretas sobre o meio ambiente e os recursos hídricos; assim, para evitar grandes alterações no ecossistema, deve-se contar com um acompanhamento e monitoramento ambiental adequado dos projetos em questão.

2.5.1 - População

Segundo o documento base do Plano Nacional Recursos Hídricos (PNRH) (ANA, 2003b, apud MASSON, 2005), a população da bacia brasileira do rio Madeira atinge 1.940.500 habitantes, isto é, $\frac{1}{4}$ da população da bacia Amazônica brasileira, que conta com 7.550.526 habitantes (4,5% do país), não incluindo o Tocantins e Araguaia. Portanto, a bacia do rio Madeira, junto com a bacia do rio Negro, consistem nas duas bacias mais povoadas da Amazônia Brasileira. A densidade populacional média da bacia rio Madeira no Brasil é de 2,8 hab/km², sendo que o estado de Rondônia destaca-se na região por ter uma densidade média em torno de 5 hab/km². Finalmente, a cidade que concentra a maior população é Porto Velho, capital de Rondônia, que conta com 314.525 habitantes (IBGE, 2000).

Do lado boliviano, a bacia do rio Madeira abrange os departamentos Beni e Cochabamba em sua totalidade, grande parte dos departamentos de Pando, Santa Cruz, La Paz, e Chuquisaca e ainda, outros departamentos em menor proporção. Na literatura não se encontraram dados de população referentes à bacia Amazônica boliviana. Fazendo uma estimativa aproximada dos departamentos e províncias que a compõem, e com base nos dados do Instituto Nacional de Estatística da Bolívia (INE, 2001), pode se estimar que a população da bacia Amazônica boliviana é de 6.100.000 habitantes, aproximadamente, ressaltando que a maior parte dessa população encontra-se concentrada nos departamentos de La Paz, Santa Cruz e Cochabamba.

2.5.2 - Aspectos fronteiriços na bacia do rio Madeira

A bacia do Rio Madeira é uma bacia transfronteiriça que abrange o Brasil, a Bolívia e o Peru. É uma região que se situa numa faixa de fronteira entre o Brasil e a Bolívia. O

desenvolvimento de uma faixa de fronteira, configura-se em importante diretriz das políticas nacionais e internacionais, considerando que, apesar de ser estratégica para a integração sul-americana, às vezes, as regiões apresentam-se pouco desenvolvidas economicamente, marcadas pela dificuldade de acesso aos bens e aos serviços públicos, historicamente abandonadas pelo estado e pela falta de coesão social, por problemas de segurança pública e pelas precárias condições de cidadania.

A região da faixa de fronteira do Brasil caracteriza-se geograficamente por ser uma faixa de 150 km de largura ao longo de 15.719 km da fronteira terrestre brasileira⁶, que abrange 11 unidades da federação e 588 municípios e reúne aproximadamente 10 milhões de habitantes. O Brasil faz fronteira com dez países da América do Sul e busca a ocupação e a utilização da faixa de fronteira de forma compatível com sua importância territorial estratégica (MI, 2005).

No campo das interações transfronteiriças, as situações de fronteira não são as mesmas ao longo do extenso limite internacional, não só devido às diferenças geográficas, mas também ao tratamento diferenciado que recebe dos órgãos de estado e ao tipo de relação estabelecida com os povos vizinhos. Nesse contexto, considerou-se importante destacar, na bacia do rio Madeira, duas cidades situadas em área de fronteira como são Guayaramerin (Beni-Bolívia) e Guajará-Mirín (Rondônia-Brasil) denominadas cidades gêmeas (MI 2005). Estas cidades conseguiram criar um âmbito de relações bilaterais na busca de métodos e tecnologias para um melhor desenvolvimento da região em áreas de saúde, educação, meio ambiente, turismo visando uma maior integração entre os dois países.

Com base nesse exemplo de parceria entre duas cidades vizinhas fronteiriças, poder-se-ia admitir que os acordos internacionais bilaterais ou multilaterais simplificam os possíveis conflitos, problemas ou gargalos que se poderiam produzir por diferenças políticas, econômicas, sociais, culturais e outras. Entretanto, não existe, até hoje, um

⁶ Lei No.6.634/79, regulamentada pelo Decreto No. 85.064, de 26 de agosto de 1980

acordo binacional que ajude a implantação de normas para uma melhor gestão da bacia transfronteiriça do rio Madeira. Porém na bacia Amazônica, existem, atualmente, alguns tratados e acordos entre os diferentes países que a compõem, visando uma melhor gestão do meio ambiente e dos recursos hídricos.

2.5.3 - Degelo dos Andes

Há alguns anos estudos relativos ao degelo dos Andes vêm sendo realizados, de fato, a intensidade com que as geleiras estão-se reduzindo configura uma situação alarmante, já que poderia causar impactos nos rios que nascem delas e na população que se encontra no entorno. As geleiras que constituem as cabeceiras do rio Madeira encontram-se na Bolívia e Peru. As águas de degelo das geleiras tropicais são utilizadas para o consumo, agricultura, hidroeletricidade, atividade mineradora e projetos agroindustriais, desempenhando um papel central no desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões (RAMÍREZ *et al.*, 2006).

Segundo alguns levantamentos, as geleiras andinas podem ter tido uma diminuição de mais de 20% nos últimos 20 anos. Existem diversas pesquisas científicas que já testemunham reduções contínuas dos glaciais de inúmeras áreas, como os Campos de Gelo Sul, em território Chileno-Argentino, do Calejam de Huayalas no Peru, do Parque Nacional Natural Los Nevados na Colômbia (geleiras Tolima, Santa Isabel e Ruiz, Chacaltaya em La Paz, Bolívia (FREITAS, 2006).

A esse ritmo de retrocesso, a desapareção da metade das geleiras Andinas é previsível nos próximos decênios. Se bem, as massas de gelo nos trópicos têm um papel menor na escala mundial, como por exemplo, no controle de nível dos oceanos; localmente exercem um controle importante nos recursos hídricos. Um claro exemplo observa-se nas capitais, La Paz, Quito e Lima, que concentram mais de dez milhões de pessoas (regiões costeiras do Pacífico e vales inter-andinos) abastecidas de águas com origem nas geleiras. Essa evolução pode ser crítica quando o escoamento da geleira atenua a variabilidade estacional (época seca de mais de três meses, como no sul do Peru e na

Bolívia) e inter-anual (anos secos) como no caso dos anos ENSO na região andina da Bolívia e no sul do Peru (FRANCOU *et al.*, 1995).

Segundo cientistas que estudam o degelo dos Andes como FRANCOU *et al.* (1995). POUAYUD *et al.* (1998) e RAMIREZ, (2006), entre outros, as geleiras da Colômbia, Bolívia, Peru e Equador são frágeis porque estão na região tropical, onde mudanças de temperatura afetam muito a quantidade de precipitação. Alguns exemplos são: a Cordilheira Blanca, no Peru, que, de 1950 a 2000, teve uma redução de 70% das geleiras da cordilheira; O Huascarán, geleira mais alta do Peru, com aproximadamente 6.000 metros de altitude, teve uma perda de cerca de 40% do existente há 30 anos. Outro caso é visto na Bolívia, o Chacaltaya. A geleira fica a 5.200 metros de altitude, onde no verão já não é mais possível ver a neve. A geleira que mantinha a única estação de esqui do país quase desapareceu. O retrocesso foi bem documentado desde 1991, ela perdeu 1,20 metros por ano de espessura. Essa redução é representativa para a maioria das geleiras da Cordilheira Real da Bolívia

Um outro fator a levar em consideração são os sedimentos, estudos recentes nas medidas de produção de sedimentos realizadas nas estações hidrológicas no sudoeste das cabeceiras da bacia Amazônica, noroeste das cabeceiras da bacia do rio Paraguai e leste da bacia do Altiplano dos Andes destacam a heterogeneidade dos fatores de controle da erosão. Todavia, percebeu-se que, no caso Amazônico, existe uma maior influência de variáveis relacionadas ao clima, como pluviosidade e escoamento (rios Beni e Chapare).

3 - ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO NOS ANOS 1982-1983 E 1997-1998

3.1 - Introdução

Os fenômenos hidrológicos apresentam uma aleatoriedade intrínseca devida à complexa interação e dependência entre inúmeros fatores influentes nas diversas fases do ciclo hidrológico (NAGHETTINI & PINTO, 2007). Para lidar com essas incertezas, o hidrólogo tem como uma das suas primeiras tarefas, obter e analisar os dados hidrológicos. A análise de dados hidrológicos compreende um conjunto de métodos e técnicas que permitem extrair conclusões adequadas e úteis aos objetivos dos diferentes projetos hidrológicos. Assim, de acordo com esses objetivos essas técnicas fazem uso de gráficos, processo estatísticos, teoria de probabilidades e demais elementos necessários para essa análise.

Os estudos hidrológicos envolvem principalmente o estudo de chuvas, eventos de chuvas intensas extremas ou ausência das mesmas em períodos longos (estiagem). Os eventos extremos, podem causar problemas sérios para a população. como inundações, alagamentos nas ruas, danos na agricultura, danos nas estruturas das barragens, redução da vazão de rios que repercutem no abastecimento de água, geração de energia e outros.

A disponibilidade de precipitação em uma bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundações e a erosão do solo (TUCCI, 2007). A análise pluviométrica é de significativa importância para uma boa gestão de recursos hídricos, pois visa definir diretrizes de planejamento urbano e regional, além

de contribuir diretamente no estudo dos fenômenos naturais no melhor entendimento da sua física e sua dinâmica.

Em geral, estudos de análise pluviométrica são realizados com objetivo de fornecer informações que permitam desenvolver diferentes tipos de projetos. Um dos maiores problemas, que geralmente surge na realização de estudos de análise pluviométrica, é a quantidade e qualidade de dados disponíveis, principalmente em zonas em que a densidade de estações não é adequada ou não se conta com registros suficientes quanto à série histórica disponível. Este fato dificulta bastante a análise pluviométrica. As variações temporais e espaciais das precipitações são geralmente complexas. A caracterização detalhada dessas variações demandaria redes densas de postos pluviométricos dispondo, preferencialmente, de um número suficiente de postos pluviográficos. (RAMOS *et. al.*, 1989).

A bacia do rio Madeira encontra-se localizada numa região, que, sofre a influência de diferentes sistemas de circulação atmosférica como já foi explicado no Capítulo 2 no item do clima da bacia. Estes sistemas determinam o clima da região sendo determinantes na quantidade de precipitação. De igual maneira, esta bacia também sofre a influência do fenômeno El Niño, o qual causa grande variação no tempo ocasionando excesso ou déficit de precipitação. O fenômeno El Niño como será observado mais adiante, é um dos fenômenos que causa maior influência nas precipitações da região em estudo, algumas zonas da bacia do rio Madeira apresentam secas e outras sofrem grandes inundações. Este fenômeno pode ter diferentes intensidades, podendo ser moderado ou forte. No item a seguir aborda-se com maior detalhe o fenômeno do El Niño.

3.2 - Características do fenômeno El Niño

Originalmente, o nome de El Niño foi atribuído pelos pescadores de Paita na costa norte do Peru, uma vez que o aparecimento do fenômeno se dava nas épocas de

Natal, sendo associado ao nome de El Niño Jesus. Durante muitos anos, os pescadores de Paita tinham percebido uma contracorrente quente que aparecia desde o norte e se sobrepunha às águas frias do Pacífico. A cada alguns anos, esta contracorrente cálida se estendia mais ao sul, durava alguns meses e trazia consigo chuvas intensas. Para os pescadores, isto significava tempos difíceis já que a redução dos peixes era grande. Para os moradores da região de Piura, cidade localizada no interior de Paita, esses mesmos meses eram vistos como “tempos de bonança”, já que a terra desértica do lugar era irrigada pelas intensas precipitações e, em poucas semanas, a região era coberta por pastos abundantes, acrescentado a produção de gado e de algodão.

Foi em 1920, que o cientista britânico Sir Gilbert Walker descobriu uma notável conexão entre as leituras barométricas de estações nos lados oriental e ocidental do Pacífico. Ele observou que quando a pressão cresce no leste ela geralmente cai no oeste e vice-versa. Walker criou o termo Oscilação Sul para representar essa diferença dos barômetros no Pacífico Equatorial. Nessa época, Walker indicou que as condições climáticas entre regiões distantes no mundo poderiam estar entrelaçadas, teoria que inicialmente não foi aceita por falta de dados dos padrões de ventos sobre o nível da terra, que, naquela época, ainda não eram motivo de observações rotineiras. Dessa maneira esta teoria só veio a ser sustentada anos mais tarde (BARCKHAHN, 2002).

No final da década de 1960, nos anos 1957–1958 aconteceu um dos fenômenos do El Niño mais intensos do século. O Professor Jacob Bjerknes, da Universidade da Califórnia, foi a primeira pessoa a observar que existia uma conexão entre temperaturas quentes pouco comuns na superfície do mar, com os ventos fracos de leste para oeste e as condições de alta precipitação. Posteriormente, a descoberta de Bjerknes levou ao reconhecimento de que as águas quentes do "El Niño" e as variações de pressão na Oscilação Sul de Walker eram partes do mesmo fenômeno.

Apesar disso, só apenas há mais ou menos 25 anos o mundo começou a prestar atenção nesse fenômeno, após as conseqüências causadas pelo evento do El Niño de 1982/83, intensificando dessa maneira, esforços para entender como o processo ocorre globalmente.

Segundo BARCKHAHN (2002) hoje em dia, o El Niño, tem sido reconhecido como a causa de muitas mudanças climáticas que o mundo experimenta todos os anos. Desde o seu epicentro no Pacífico Tropical, este modifica as correntes marítimas, os ventos alísios e os sistemas gestores de chuvas. Este fato repercute no mundo afetando as cadeias alimentares e as economias dos países. Um evento deste fenômeno pode afetar a muitos lugares no mundo simultaneamente.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande escala que ocorre no oceano Pacífico Equatorial. O fenômeno mostra, de forma marcante, o forte acoplamento oceano-atmosfera que se manifesta sobre a região. O El Niño representa o componente oceânico do fenômeno, enquanto a Oscilação Sul representa a contrapartida atmosférica. A variação irregular em torno das condições normais de ambos componentes revela duas fases opostas do ENOS. Um desses extremos é representado pelas condições de El Niño, quando se verifica um aquecimento das águas simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico leste (também denominada fase quente ou fase negativa), e a situação oposta, ou seja, quando ocorre um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (também denominada fase fria ou fase positiva), representando condições de La Niña (CIRAM, 2008).

O índice de oscilação sul (IOS) representa a diferença entre a pressão atmosférica superficial entre o Pacífico central (Taiti) e o Pacífico do oeste (Darwin/Austrália). Quando esse valor é negativo há indicação de uma inversão dos sistemas de pressão no Oceano Pacífico, com a presença do El Niño. Assim, valores negativos e positivos

do IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña respectivamente. (SENAMHI, 2002).

A oscilação do sul está associada a mudanças na circulação geral da atmosfera. Nos anos de El Niño, a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico e aumenta no restante da região tropical. Os valores baixos da pressão, o aumento da evaporação no Pacífico e a mudança dos ventos alísios aumentam os movimentos ascendentes, formando mais nuvens e produzindo mais chuva. Os movimentos ascendentes acelerados e o calor latente de condensação (liberado no processo de formação das nuvens) modificam a circulação geral (Walker), causando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical, principalmente no sentido zonal. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens e reduzem a precipitação (com secas em eventos moderados a fortes), como no caso do norte do Nordeste do Brasil e da Indonésia. Nas regiões extratropicais, a circulação da atmosfera também é alterada, causando o fenômeno de bloqueio e mudando a trajetória e intensidade dos sistemas frontais, causando mais chuvas (e enchentes nos episódios moderados e fortes), como no caso do Sul do Brasil (DE ARAGÃO, 2000)

O Índice da Oscilação do Sul é um dos principais e mais utilizados no monitoramento do ENOS. Além da temperatura da superfície do mar (TSM) e do índice (IOS), existem outros indicadores de ENOS como o IOS Equatorial, as anomalias da radiação de onda longa perdida para a atmosfera, os ventos alísios e a estrutura da temperatura sub-superficial do Oceano Pacífico equatorial. Dessa maneira, existem também diferentes cronologias associadas aos períodos em que aconteceu o fenômeno El Niño.

O evento de El Niño aparece mais ou menos a cada 3-7 anos. Porém, de um evento ao seguinte o intervalo pode mudar de 1 a 10 anos. As intensidades dos eventos também são bastante variadas. O El Niño mais intenso desde a existência de "observações" de temperatura de superfície do mar (TSM) ocorreu em 1982-83 e

1997-98 (DE OLIVEIRA, 2001). Na Figura 3.1 pode-se observar as condições normais no pacífico Equatorial e as condições quando há presença do fenômeno El Niño.

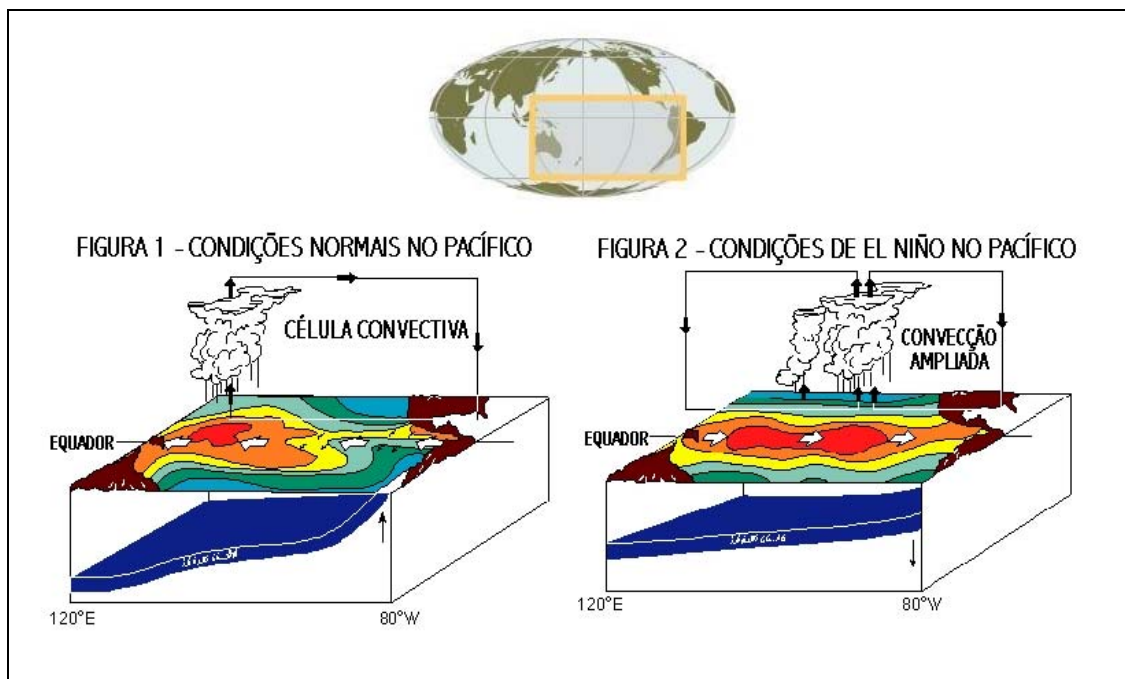


Figura 3.1 - Condições normais no Pacífico Equatorial e condições com o fenômeno El Niño

Fonte - Adaptado de <http://www.pmel.noaa.gov>.

Durante o fenômeno El Niño, o incremento da temperatura marinha aquece e umedece a atmosfera, alterando a convecção de forma tal que as zonas de convergência e chuvas associadas se deslocam para outros lugares originando, por sua vez, perturbações na circulação atmosférica. As mudanças na localização das chuvas regulares dos trópicos e o calor latente liberado alteram consideravelmente o ritmo habitual do aquecimento da atmosfera. A maioria das variações interanuais nos trópicos e parte das variações extratropicais estão estreitamente relacionadas com o fenômeno El Niño (TRENBERTH, 1997). Durante o fenômeno, a pressão atmosférica é mais alta do que o normal na Austrália, na Indonésia, no sudeste Asiático e nas Filipinas e o fenômeno manifesta-se deixando a atmosfera seca. Essa seca prevalece também nas ilhas Havaí e América Central, estende-se até a Colômbia e nordeste do

Brasil. Em outras regiões, as chuvas são excessivas, é o caso de alguns lugares do Pacífico Ocidental e Central, sobre a costa oeste de América do Sul, também em Paraguai, parte de Argentina e Uruguai; no inverno, também se manifesta nos estados do sul de América do Norte (OPS, 2000).

3.3 - Aspectos históricos destacáveis do fenômeno El Niño

Na temática dos desastres naturais do mundo, o fenômeno El Niño vem se tornando, cada vez mais um assunto de maior importância devido à frequência com que eventos naturais catastróficos ocorrem provocando impactos em grande escala, vítimas humanas, perdas econômicas e demais aspectos que deterioram a qualidade de vida das populações afetadas.

Os períodos de ocorrência do fenômeno de El Niño dos quais já fomos testemunhas em alguns anos como 1982-1983 e 1997-1998, acarretaram muitos transtornos como secas, incêndios, chuvas intensas, inundações, mortes de pessoas e animais e entre outros aspectos, que nos levam a refletir sobre os próximos eventos com grandes anomalias que poderiam acontecer. É, de fato, de suma importância tomar consciência da magnitude dos danos que este fenômeno pode ocasionar, afetando profundamente a vida e a saúde pública, principalmente nos países da América Latina.

O fenômeno do El Niño, hoje em dia, não é mais interesse exclusivo só de físicos, meteorologistas e oceanógrafos, o interesse público por entender mais o fenômeno tem crescido bastante. Mesmo assim, muitas vezes, depois do período de emergência de um evento acontecido, a reação da sociedade, em geral, é voltar para a “vida normal” deixando atrás o passado sem se preocupar em resgatar desses episódios as experiências aprendidas principalmente por parte das autoridades pertinentes. O fato de entender melhor este fenômeno e estudar os fenômenos já acontecidos nos ajudam no caminho de desenvolvimento de medidas de adaptação para estarmos mais preparados ante esses acontecimentos.

Antecedentes Históricos: Os anos de que se tem registro (CEPAL, 1998, TRENBERTH, 1997) em que o fenômeno foi intenso são 1925, 1932, 1939-1942, 1953, 1966, 1968-1970, 1972-1973, 1982-1983 e 1997-1998.

A severidade do El Niño de 1982-1983 foi uma das maiores comparadas com outros eventos. Foi só a partir desse evento que os cientistas começaram a prestar maior atenção na série de alterações atmosféricas e oceânicas na região do Pacífico Equatorial. Em algumas interpretações, o início desse evento pode ser visto em maio de 1982, quando os ventos superficiais de leste para oeste, que geralmente se estendem por todo o Pacífico equatorial, das Ilhas Galápagos até a Indonésia, começaram a enfraquecer, revertendo sua direção para leste e dando início a um período de tempestades. Em poucas semanas, o oceano começou a reagir às mudanças de direção e velocidade dos ventos. O nível do mar aumentou cerca de 30 cm em direção leste. À medida que o nível do mar aumentava no leste, simultaneamente, no Pacífico ocidental, este caía, expondo e destruindo as camadas superiores de frágeis recifes de corais que envolvem muitas ilhas. Em função dessas grandes mudanças no Oceano Pacífico, a vida marinha foi afetada ao longo da linha de costa do Pacífico, do Chile à Columbia Britânica. A temperatura das águas ficou acima do normal, e os peixes que, normalmente viviam em águas tropicais e subtropicais, migraram ou se deslocaram em direção aos pólos.

O "El Niño" de 1982-83 produziu efeitos igualmente catastróficos sobre a porção continental. No Equador e norte do Peru, mais de 300 mm de chuva caíram durante um período de seis meses, transformando a região desértica costeira em área verde e com lagoas temporárias.

Outro evento de magnitude considerável foi o El Niño dos anos 1997 – 1998. Segundo a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos, as perdas econômicas causadas nesses anos pelo fenômeno no mundo, atingiram a 33.200 milhões de dólares, dos quais 54,4 % correspondem ao centro e sul da América,

19,4% a Norte América, 16,1% a Indonésia e Austrália, 9,7% a Ásia e 0,4% a África. Estas cifras são contrárias às cifras de mortandade do mesmo estudo que apresentam maior quantidade de vítimas humanas. Na África com 63,2% do total que atinge 24.120 mortes no mundo causadas pelo fenômeno, 25% na Ásia, 5,5% na Indonésia e Austrália, 4,1% em centro e sul América e 2,2% América do Norte. Na América Latina, os efeitos mais diretos do El Niño, tanto em perdas humanas como econômicas foram maiores no Peru e no Equador, seguidos do Brasil, México, Argentina e Bolívia, e em menor proporção nos outros países da região (OPS, 2000).

No fenômeno do El Niño de 1997-1998, já com base no acontecido no evento de 1982-83 as informações elaboradas de prevenção foram maiores. A maioria dos países recebeu dados sobre os prognósticos possíveis desse fenômeno, e a partir de março ou abril de 1997, foram desenvolvidos programas de prevenção e mitigação em vários países. A título de exemplo, a Tabela 3.1 apresenta as manifestações de El Niño e o número aproximado de falecidos, feridos e desaparecidos atribuídos a este fenômeno como causa direta em 1997-1998, em comparação com os dados disponíveis para 1982-1983 em alguns países da Região (OPS, 1998).

Tabela 3.1- Manifestações climáticas de El Niño, falecidos, feridos e desaparecidos durante o episódio de 1997-1998 e falecimentos atribuídos ao mesmo fenômeno em 1982-1983 (OPS, 1998)

País	Efeitos	Falecidos 1982/1983	Falecidos 1997/1998*	Feridos 1997/1998*	Desaparecidos 1997/1998*
Bolívia	Chuvas intensas na Cordilheira com desabamentos nas estradas que unem a capital a Cochabamba e Sta. Cruz, geadas e granizo. Surto de cólera em La Paz, Cochabamba e Oruro.	50	43	400	40
Equador	Intensas chuvas com inundações no litoral, destruição de pontes e estradas. Casos de leptospirose e cólera na zona sul.	220	183	91	35
Paraguai	Intensas chuvas com transbordamento dos rios Paraná e Paraguai, e inundações nas zonas ribeirinhas. Um tomado assolou a capital, acompanhado de uma tempestade que provocou inundação de casas, escolas e hospitais.	65	49	---	---
Peru	Chuvas intensas no norte e na região amazônica do país, com graves inundações, desabamentos, e danos na infra-estrutura rodoviária. Aumento significativo de casos de cólera na zona norte do país. As condições de salubridade não são boas nestas zonas.	380	203	107	Sem informação

* Acumulado até março de 1998

El Niño na Bolívia: A Bolívia ainda que não tenha limites diretamente com o oceano Pacífico, é um país fortemente afetado pelo fenômeno El Niño. Quando aparecem indícios do início do fenômeno, o clima boliviano é alterado nas precipitações, temperatura, ventos e outras variáveis climáticas gerando diversas ameaças à população e às atividades econômicas. Durante os últimos anos os impactos do fenômeno sobre a Bolívia têm sido diferentes. O de maior relevância foi o acontecido nos anos 1982-1983, considerado um evento forte. A distribuição de precipitações foi

mais clara que em outros episódios, com valores acima do normal na parte oriental (parte da bacia Amazônica boliviana) e com déficits em alguns lugares do Altiplano e parte dos vales. Para eventos do fenômeno moderados, resulta difícil estabelecer um comportamento regular das chuvas. Geralmente, ocorrem maiores precipitações na parte oriental com algumas exceções. O altiplano tem um comportamento irregular (déficits/excessos) segundo a zona. Portanto, pode-se dizer que, em eventos do El Niño moderados as tendências não são claras quanto ao comportamento espacial das chuvas, mas, em geral, tendem a repetir padrões de eventos do El Niño fortes (CAF, 2007).

Segundo informes elaborados pelas autoridades bolivianas e documentados na publicação "Situação de Saúde nas Américas" (OPS/OMS, 1984, apud OPS, 2000) na Bolívia foram registradas 50 mortes no evento do El Niño 1982-83. Houve um total de 700.000 pessoas afetadas por causa das inundações e 1.600.000 por causa da seca. Os danos totalizaram em 837 milhões de dólares (OPS, 2000)

Segundo um informe de Inundações urbanas (TERRAZAS & SELEME, 2005), nos anos 1982 e 1983, aconteceram inundações em diferentes sub-bacias na Bolívia. Em março de 1983 o rio Piraí, afluente do rio Mamoré, transbordou provocando inundações em varias cidades de Santa Cruz situadas nas margens do rio. Foram aproximadamente 25.000 pessoas afetadas, os danos de infra-estrutura, agropecuária, vivendas somaram 37,5 milhões de dólares. Na realidade, as inundações do ano hidrológico 82-83 tiveram maior alcance nas bacias do rio Beni, Mamoré e Iténez (grande parte da bacia Amazônica boliviana). O departamento do Beni contabilizou perdas na atividade pecuária, que atingiram mais ou menos 14 milhões de dólares numa área inundada de aproximadamente 49.000 km² com mais de 140.000 habitantes afetados.

Durante ano hidrológico de 1997 – 1998, com a identificação do fenômeno El Niño, a maior parte do país foi afetado por déficit de precipitação, o que gerou um quadro de

secas (CAF, 2007). Sem embargo também houve inundações numa área equivalente a 15% do país com perdas no setor agropecuário de mais de 10 milhões de dólares e mais de 4.000 pessoas afetadas. Entre os lugares afetados na bacia Amazônica boliviana tem-se as Províncias de *Chapare e Carrasco* (Cochabamba), *Ingavi, Larecajas Loayza e Murillo* (La Paz), *Ichilo, Santiesteban, Warnes, A. Ibañez e Sarah* (Santa Cruz) e os departamentos de Beni e Pando (TERRAZAS & SELEME, 2005)

Durante estes fenômenos a produção agrícola também é afetada. Dessa maneira, nos anos 1997-1998, a diminuição total da produção nacional, traduzida em termos econômicos significou aproximadamente um montante global de 137 milhões de dólares, isto é, aproximadamente 57% das perdas ocasionadas pelo fenômeno em 1982-1983, que foi de aproximadamente 241 milhões de dólares (OPS, 2000).

El Niño no Brasil: As causas da seca na região nordeste e enchentes na região sul foram atribuídas ao evento “El Niño” de 1982-1983. No Brasil, o nordeste é considerado como uma região anômala, com anos de seca prolongada e anos com alto índice de precipitação, porém com uma distribuição espacial e temporal muito acentuada. Além do “El Niño”, existe a influência do dipolo de temperatura do Oceano Atlântico. Os estados do norte da região nordeste, Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, são geralmente os mais afetados, pela estiagem.

O regime de chuvas no sul do Brasil é muito diferente da região nordeste. As chuvas em geral, são regulares com uma baixa variabilidade interanual. Dessa maneira em julho de 1983, ocorreram fortes chuvas no estado de Santa Catarina sendo vários municípios afetados pelas enchentes, principalmente Blumenau (REBELLO, 2000)

O estado do Amazonas, que está localizado numa região de clima equatorial quente e úmido sofre as influências de muitos fenômenos meteorológicos, sendo que o fator primordial para tais fenômenos é a energia recebida através da radiação solar. Segundo o estudo realizado por SANTOS *et al.* (2007) sobre a influência dos fenômenos El Niño e La Niña no Estado, as estações analisadas no estudo mostraram

claramente a relação das anomalias com anos de eventos do ENOS. As anomalias anuais de precipitação registradas que se relacionaram com o fenômeno ocorreram nos anos de episódios reconhecidos como mais intensos, como, por exemplo, os episódios de El Niño de 1982-1983 e 1997-1998 e os de La Nina de 1988-1989 e 1999. No entanto, também se observou que, em algumas estações meteorológicas não ocorreram anomalias mesmo nos anos de El Niño ou La Niña. Em outros anos não considerados de eventos do ENOS, como os anos de 1979 e 1995, foram encontradas anomalias em algumas estações. Este fato ratifica que a bacia Amazônica, tem uma grande complexidade climatológica e de precipitação em virtude de que vários sistemas meteorológicos atuam em conjunto na região.

Dessa maneira, são observados, geralmente com maior clareza somente os fenômenos que foram considerados intensos, sendo nesse caso o El Niño de 1982 e 1983 e 1997 – 1998, que causaram secas e incêndios. Neste último destaca-se o grande incêndio florestal de Roraima em março-abril de 1998, em que a estiagem revelou-se como uma das piores dos últimos 15 anos, trazendo forte prejuízo à economia do estado, com perdas estimadas de mais de R\$ 10 milhões.

4 - REGIONALIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA POR MEIO DE TÉCNICAS DE AGRUPAMENTO DE DADOS

Numa regionalização hidrológica, a homogeneidade é entendida como a semelhança na resposta hidrológica de cada região, assim a regionalização é usada para identificar zonas que apresentem um comportamento semelhante e, respostas hidrológicas podem ser comparadas, facilitando, desta maneira, a transferência de informações entre regiões (TUCCI, 1993). Muitas vezes para suprir a deficiência de dados, são usadas as técnicas de regionalização hidrológica. A definição de região hidrológica homogênea não implica a existência de uma continuidade geográfica entre elas, e regiões contínuas não expressam, necessariamente, respostas hidrológicas análogas (ANDRADE, 1999).

Várias denominações são utilizadas para análise de agrupamento, como *Data Clustering*, Taxonomía numérica, Análise de grupos ou Análise de aglomerados (ou conglomerados). De acordo com EVERITT *et al* (2001), análise de agrupamento é provavelmente o nome mais genérico para referir-se a este processo.

Análise de agrupamentos é uma denominação genérica, para uma ampla escala de métodos numéricos utilizados como técnicas de agrupamento para examinar dados multivariados, com o objetivo de encontrar conjuntos de observações homogêneas (BOSCARIOLI, 2008).

O termo "*cluster analysis*" ou análise de agrupamento, empregado pela primeira vez por Tyron em 1939, engloba um grande número de diferentes algoritmos de classificação em grupos, ou taxonomias estruturalmente similares. Essencialmente, a análise de *clusters* é a aglomeração seqüencial de indivíduos a grupos cada vez maiores, de acordo com algum critério, distância ou medida de dissimilaridade (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

A análise de agrupamentos pode, muitas vezes, significar um problema difícil, porque muitos fatores críticos não estão incluídos no problema dado, como: eleição de boas medidas de proximidade, escolha de algoritmos apropriados e condições iniciais. Além disso, é de conhecimento que é muito difícil que um método de agrupamento possa tratar adequadamente todos os tipos de estruturas de grupos (com diferentes formas, tamanhos e densidades) (KOTSIANTIS & PINTELAS, 2004, apud BOSCARIOLI, 2008). Assim, em algumas aplicações, a noção de grupo não é bem definida, podendo existir, inclusive, partições de grupos diferentes, necessitando-se, portanto, uma análise cuidadosa dos dados para evitar imprecisões.

Agrupamento de dados é uma das tarefas mais usuais em processos de mineração de dados na descoberta e identificação de distribuições e padrões de interesse. Técnicas de agrupamento de dados têm sido aplicadas em uma enorme gama de áreas, por exemplo, áreas médicas, biológicas, arqueológicas, ambientais, meteorológicas, de engenharia entre outras e particularmente nas áreas em que a probabilidade e a estatística estão presentes.

As técnicas de agrupamento de dados são utilizadas para classificar diversas observações, buscando maximizar a homogeneidade de objetos ou dados dentro de um grupo determinado e maximizar a heterogeneidade entre grupos diferentes. Mais precisamente, dividem um conjunto de objetos (dados) em subconjuntos ou agrupamentos (*clusters*) de tal maneira que estes sejam similares nos parâmetros analisados. São fundamentalmente uma coleção de métodos de exploração de dados, sendo utilizados para verificar se existem agrupamentos naturais. Técnicas de agrupamento ou métodos de classificação são importantes como já foi sinalado em qualquer área do conhecimento humano e é um processo básico em qualquer ciência. A disponibilidade de recursos computacionais, como hardware com baixos custos, e softwares, muitos dos quais pacotes de métodos de análise multivariada, incluindo

várias rotinas de análise de dados e classificação, têm possibilitado o aumento explosivo de aplicações nas mais variadas áreas (COSTA,1999).

Medidas de Proximidade: Como já foi apontado, existe um critério de medidas de proximidade ou de distância que determinam o grau de similaridade entre objetos de um mesmo grupo (intra-grupo) e entre grupos diferentes (inter-grupos). Na maioria dos métodos de análise de dados multivariada, a noção de distância é central. Quase todas as técnicas de agrupamentos envolvem processamentos de medidas, tanto da magnitude da distância entre dois objetos, quanto, da magnitude das distâncias entre agrupamentos, devido ao fato dos dados poderem estar em várias formas são vários os critérios de similaridade propostos. Em geral, assume-se que os objetos são pontos em um espaço métrico p -dimensional, no qual podemos definir um critério de distâncias (COSTA, 1999).

As medidas de proximidade usuais em agrupamento de dados são: a distância Euclidiana, esta medida de distância é perfeitamente métrica, sendo uma linha reta entre dois pontos, é uma das medidas mais utilizadas em agrupamento de dados

$$d(X_i, X_j) = \sqrt{(X_i - X_j)'(X_i - X_j)} = [\sum_{i=1}^p (x_{ii} - x_{ji})^2]^{1/2} \quad (1)$$

Uma outra medida alternativa é a distância de Manhattan (City Block) que soma as diferenças entre todos os atributos, esta medida pode representar problemas quando as variáveis são correlacionadas.

Existem outras medidas utilizadas como a métrica de Minkowsky, métrica de Tanimoto, e a medida de Mahalanobis, Person entre outras (BOSCARIOLI, 2008).

Para formar ou gerar os agrupamentos, existem, vários tipos de algoritmos ou métodos que, utilizam maneiras diferentes para a representação e interpretação dos agrupamentos. As técnicas ou métodos de agrupamento podem se classificar em Métodos hierárquicos (subdivididos em *aglomerativos* e *divisórios*), métodos

particionais ou de partição, sendo que estes últimos são chamados também *não hierárquicos* (COSTA, 1999), métodos baseados em densidade, baseados em “grid” ou baseados em modelos (PEREIRA, 2005). Para este trabalho usaram-se métodos Hierárquicos e Particionais que serão descritos a continuação.

4.1 - Métodos Hierárquicos

Nos métodos hierárquicos os dados são particionados sucessivamente, produzindo uma agrupação hierárquica que facilita a visualização quanto à formação dos agrupamentos em cada estágio em que ela ocorreu e quanto ao grau de semelhança entre eles. São técnicas simples e são representadas numa estrutura com forma de árvore denominada dendograma, que mostra a forma em que as observações foram agrupadas (Figura 4.1)

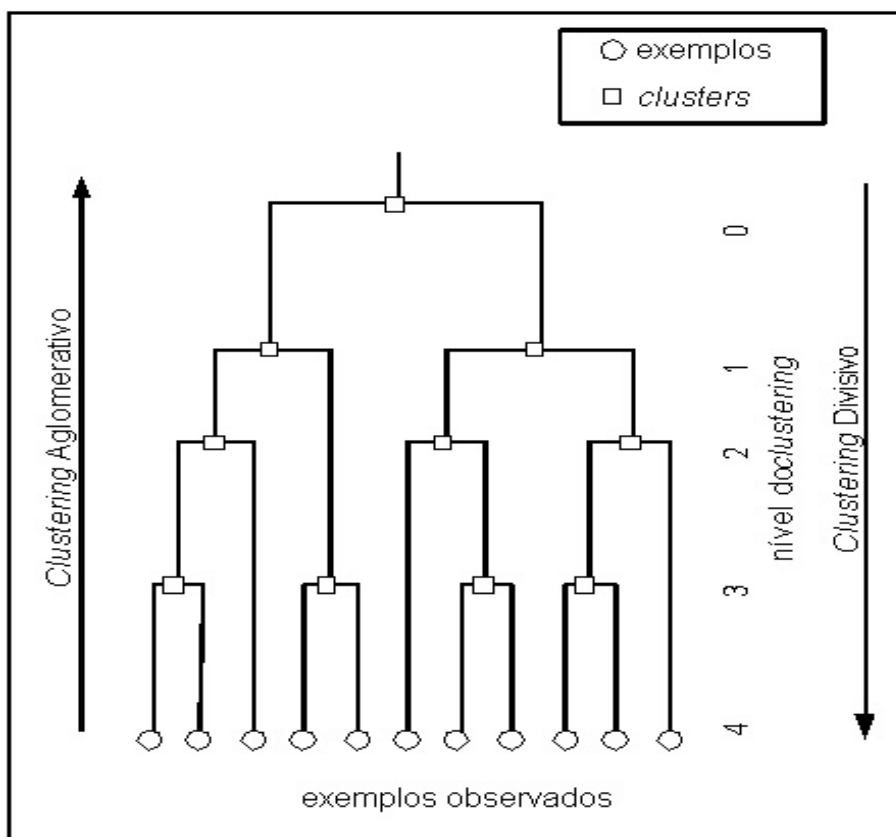


Figura 4.1- Representação de dendograma

Fonte - (METZ&MONARD, 2005).

Os métodos hierárquicos podem ser classificados de acordo com o tipo de funcionamento em métodos aglomerativos e divisorios.

Os métodos hierárquicos aglomerativos: São os mais usados, se inicia com cada objeto (dado) como um agrupamento e depois, gradualmente, os grupos são unidos, até que um único agrupamento (contendo os dados) seja gerado. No início deste processo os agrupamentos são pequenos e seus elementos possuem um alto grau de similaridade. Já no final do processo os agrupamentos são poucos e os seus elementos são maiores podendo ter menor similaridade entre si (DO VALE, 2005). Uma das desvantagens deste método é que, se a quantidade de dados é grande, torna o sistema lento, já que o método trabalha com uma matriz de similaridades entre os agrupamentos, fazendo diferentes combinações entre objetos (e por isso deixa muitas vezes o sistema lento).

Os métodos hierárquicos divisorios não são muito utilizados. Estes, por sua vez, consideram inicialmente um agrupamento de N objetos (dados) e por sucessivas divisões chega-se a N subgrupos, cada um contendo um único objeto. Os métodos divisorios são considerados bastante ineficientes e por esta razão, são menos expressivos que as técnicas aglomerativas (COSTA, 1999).

Para ambos os métodos, o número de agrupamentos (k) pode ser observado segundo a diferença entre os níveis de hierarquia observado no dendograma. Existem quatro importantes algoritmos nesta categoria que são;

O método da ligação simples (método do vizinho mais próximo) também chamado de “nearest neighbour”, onde, a distância entre dois grupos é a distância entre os objetos mais próximos destes grupos.

Método de ligação completa (método do vizinho mais distante) chamado também “furthest neighbour”, que, junta os grupos com a distância mínima entre seus objetos mais distantes.

Método de ligação média (average-linkage), que, calcula a média aritmética da similaridade (ou da distância) entre o objeto ou elemento a incluir num grupo e cada objeto ou elemento desse grupo. Uma variação desse método é o chamado de método do centróide que agrupa de acordo com a distância entre os centróides (PEREIRA, 2005).

Outro método usado nesta categoria é o método de Ward, ou método da variância mínima. Este método é utilizado com frequência, já que é considerado eficiente na formação de grupos (PEREIRA, 2005). O método de Ward foi um dos métodos escolhidos neste estudo e será abordado no capítulo de metodologia.

4.2 - Métodos Particionais ou não Hierárquicos

Os métodos não-hierárquicos de geração de agrupamentos são enquadrados como partitivos, pois dividem os n dados e u observações existentes em k partições ou agrupamentos, onde, o número de partições deve ser conhecido. Em relação às técnicas hierárquicas, apresentam a vantagem que incluem a possibilidade de mudanças de pertinência de objetos em relação a um agrupamento, durante todo o processo de formação dos agrupamentos e a possibilidade de trabalhar com bases de dados maiores (COSTA, 1999).

Os métodos não hierárquicos são muito mais rápidos que os hierárquicos, sendo que a principal desvantagem dos métodos não hierárquicos está no fato da escolha apriori do número de agrupamentos (k), o que poderá provocar interpretações erradas sobre a estrutura dos dados, caso o agrupamento escolhido não seja o ideal. Entre os métodos não hierárquicos mais conhecidos encontra-se o método das k -médias ou *k-means*, que, apesar da sensibilidade à partição inicial, tem um desempenho melhor que os métodos hierárquicos devido ao fato de ser menos afetado por “outliers”⁷(PUNJ

⁷ Outliers chamados também de valores aberrantes, são valores de registro muito distantes da média de uma variável aleatória. Esta distância normalmente é medida em relação ao desvio padrão da amostra (EVSUKOFF, 2005).

& STEWART, 1983 apud, PEREIRA, 2005). Outros métodos não hierárquicos são: o método fuzzy C-means, fuzzy analysis ou análise nebulosa (FANNY), e outros.

Observa-se que, cada vez mais, aplicam-se as técnicas de agrupamento de dados. Regiões homogêneas, obtidas através dessas técnicas, são usadas para vários fins. Ressalta-se que a identificação e a delimitação dessas regiões são consideradas tarefas difíceis e sujeitas à subjetividade, já que são construídas com bases em premissas difíceis de serem tratadas com rigor matemático (BOBÉE & RASMSSEM, 1995). Contudo, observamos que a identificação de regiões homogêneas através de agrupamento de dados vem sendo uma das técnicas mais usadas em diferentes áreas. Assim, por exemplo alguns trabalhos realizados são apresentados a seguir;

DINIZ (2003), com o objetivo de determinar as regiões homogêneas de temperatura máxima e mínima para o estado do Rio Grande do Sul, aplicou técnicas de agrupamento de dados a um conjunto de temperaturas de quarenta estações meteorológicas, obtendo quatro regiões representativas sob o ponto de vista climatológico e fisiográfico do estado. Com esse procedimento de regiões homogêneas, obteve também a estrutura térmica regional.

DE SOUZA (2004) usou ferramentas de agrupamento de dados para o estudo de predição de escorregamentos das encostas do município do Rio de Janeiro. As técnicas de agrupamento foram aplicadas nos parâmetros geotécnicos e meteorológicos, com o objetivo de obter conhecimento sobre os padrões existentes entre as diversas taxonomias inter-relacionadas (escorregamentos, chuva, uso do solo, entre outras) e para a implementação de um modelo de gerenciamento ambiental, contribuindo com informação auxiliar para o sistema de alerta existente.

PEREIRA (2005) com o objetivo encontrar uma metodologia para o desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Gerenciamento Integrado do Ecossistema Costeiro (SIGIEC), capaz de avaliar o nível de qualidade e saúde ambiental, usou como

ferramentas para a agrupação e melhor conhecimento das diferentes variáveis, os métodos Ward e k médias.

BECKER (1992) usou regiões homogêneas de precipitação pluvial e de temperatura para estabelecer padrões climatológicos do Rio Grande do Sul. No mesmo trabalho, esses grupos foram também usados para simular séries temporais e preencher valores faltantes no conjunto de dados.

KELLER FILHO *et al.* (2005) realizaram uma regionalização pluviométrica por meio de análise de agrupamento de dados, com o fim de obter regiões homogêneas quanto à distribuição de probabilidades de chuva no Brasil, contribuindo para estudos de riscos climáticos na agricultura. O estudo identificou 25 zonas pluviometricamente homogêneas.

BAPTISTA DA SILVA *et al.* (2001), através da análise de agrupamento, estudaram o comportamento dos totais trimestrais das chuvas no estado do Ceará, a partir de 20 estações meteorológicas distribuídas por toda extensão do estado e com 81 anos de observações. O método de agrupamento usado foi o método hierárquico de Ward, obtendo-se quatro regiões homogêneas quanto ao regime de chuvas.

BALDO *et al.* (2000) analisaram a variabilidade anual e interanual da precipitação pluvial no estado de Santa Catarina, determinando grupos homogêneos através do método Ward.

DA SILVA (2004) analisou as variabilidades sazonais e interanuais das precipitações na região Sul do Brasil, associadas às temperaturas da superfície dos Oceanos Pacífico e Atlântico, baseado nas técnicas de agrupamento de dados e por meio do método de Ward. Realizou a homogeneização dos dados, achando três áreas homogêneas que ajudaram a representar a variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região Sul do Brasil.

Assim, vários pesquisadores têm feito uso de uma variedade de dados de todos os tipos, entre eles hidrológicos e meteorológicos para definir regiões pluviometricamente homogêneas, tipos climáticos e delinear zonas de similaridade climática.

No presente trabalho o agrupamento de dados foi a ferramenta para o conhecimento das regiões homogêneas na bacia do rio Madeira e quanto à pluviometria da bacia mesma, usaram-se dois métodos; O método Ward e o método das k-médias que serão descritos no capítulo a seguir.

5 - METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo teve como referência a base de dados disponíveis da bacia hidrográfica do rio Madeira. A quantidade e qualidade de dados são determinantes para o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa. É importante salientar que a base de dados usada, desde a coleta até o tratamento representou uma tarefa complicada, fato pelo qual na primeira etapa deste capítulo é apresentada a importância da manipulação de dados hidrometeorológicos, a eficiência das redes hidrometeorológicas e, por fim, as entidades fornecedoras dos dados.

A metodologia aborda as principais etapas desenvolvidas para a realização deste trabalho. Inicialmente, será explicado o procedimento de escolha dos dados, logo em seguida, será abordada a metodologia utilizada para a regionalização pluviométrica por meio de análise de agrupamentos com a finalidade de encontrar zonas pluviometricamente homogêneas na bacia. Finalmente, será apresentada a metodologia para escolha das estações relacionadas com o fenômeno El Niño.

5.1 - As redes hidrometeorológicas no Brasil e na Bolívia

Os dados climatológicos, fluviométricos, pluviométricos, evaporimétricos, sedimentométricos e de indicadores de qualidade da água podem ser obtidos em instalações próprias, localizadas em pontos específicos de uma região, em intervalos de tempo pré-estabelecidos e com sistemática de coleta definida por padrões conhecidos. Esse conjunto de instalações é denominado de postos ou estações. São estes postos que constituem as redes hidrométricas ou hidrometeorológicas cuja manutenção e densidade são essenciais para a qualidade dos estudos hidrológicos. (NAGUETTINI & PINTO, 2007).

Para estudar as precipitações relativas a algum lugar, uma das preocupações é o tamanho da área a ser monitorada e qual a densidade da rede pluviométrica inserida

neste espaço. Segundo a OMM (1994), a representatividade de um pluviômetro depende da topografia das regiões. No caso de uma topografia marcante, com acidentes geográficos significativos, com grandes elevações ou mesmo vales profundos, sem uma boa representatividade de pluviômetros, os dados poderiam ficar comprometidos. Assim, ainda não é possível afirmar com grande precisão qual o padrão a adotar em termos de densidade pluviométrica. Apenas é claro que todo lugar terá densidades diferentes, dependendo principalmente de sua geografia, da complexidade dos sistemas atmosféricos atuantes e principalmente dos objetivos propostos.

A expansão de uma rede de pluviômetros pode melhorar muito o gerenciamento das águas sobre uma determinada região. Entretanto, existe outro fator a se levar em conta, como a coleta de dados. Estações convencionais, como as existentes no Brasil e na Bolívia, dependerão da disponibilidade de um profissional⁸ com requisitos mínimos e de seu compromisso em coletar estes dados todos os dias nos horários propostos.

Hoje em dia as estações telemétricas são de grande utilidade, já que dispensam a mão-de-obra e proporcionam dados mais confiáveis e contínuos, agilizando o processamento de grandes volumes de informações. A coleta de dados hidrológicos é importante, já que, enquanto mais longos e precisos forem os registros, mais simples e mais corretas serão as respostas aos diversos problemas da hidrologia (ANDRADE COELHO, 2006).

O fato de coletar dados para diferentes projetos que envolvem dois países ou mais, é uma tarefa difícil já que, de acordo com cada país, o acesso a esses dados pode ser restrito.

⁸ Na maioria dos casos em que os lugares são afastados os encarregados da leitura de dados podem ser simplesmente pessoas da região que muitas vezes não cumprem com a leitura correta dos dados.

No caso do Brasil, os dados encontram-se disponibilizados na internet, porém existem entidades fornecedoras de dados com difícil acesso. No caso da Bolívia os dados hidrometeorológicos não são disponibilizados gratuitamente, o que representa uma dificuldade para outros países terem acesso sem um acordo prévio entre as entidades encarregadas.

Considerou-se importante dar a conhecer de forma resumida como é realizado o monitoramento das redes hidrometeorológicas dos respectivos países envolvidos no estudo.

5.1.1 - Brasil

O levantamento de informações hidrológicas no Brasil teve início há mais de cem anos, quando foram instaladas as primeiras estações pluviométricas com medições regulares, e iniciadas as primeiras operações de estações com controle de níveis e medição de vazões.

Alguns fatos destacados na história aconteceram em diferentes épocas. Em 1920 foram implantadas diversas estações com operação organizada. Foi criada a Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas que se constituiu no núcleo do qual se originaram os futuros órgãos nacionais dedicados à hidrometria. Em 1934, foi editado o Código de Águas, que se tornou um instrumento de fundamental importância para o desenvolvimento do setor elétrico nacional, para o estudo dos aproveitamentos dos potenciais hidráulicos e para a hidrometria. Na década de 70, realizou-se a ampliação da rede hidrométrica em regiões mais difíceis, principalmente na região Amazônica, com objetivo de conhecer o comportamento hidrológico (volumes e a distribuição temporal) dos escoamentos produzidos nas grandes bacias hidrográficas localizadas nessa região. Além disso, foram assimiladas tecnologias modernas e conhecimentos técnico-científicos por meio de cursos de hidrometria e hidrologia que foram criados no país. Uma grande mudança se destaca hoje em função do desenvolvimento de novos equipamentos de hidrometria e de transmissão remota de dados, que estão sendo

disponibilizados no mercado, de modo a facilitar o trabalho de campo e a aumentar a confiabilidade das informações levantadas (ANA, 2007).

A Rede Hidrometeorológica Nacional é administrada atualmente pela Agência Nacional de Águas (ANA), mas existem outras entidades produtoras de dados hidrológicos e hidrometeorológicos. A Agência Nacional de Águas (ANA) tem uma parte da rede operada pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, e outra parte pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Outras redes acessórias, de menor extensão, são mantidas por companhias energéticas ou por companhias de serviços de saneamento básico, entre outras.

A rede pluviométrica Nacional do Brasil conta com 8157 estações em todo o país, onde 618 destas se localizam na região Amazônica (estações da ANA mais estações de outras entidades). As estações pluviométricas pertencentes somente à ANA são 2707, no qual 486 reportam-se a região Amazônica (ANA, 2008). Na Figura 5.1, pode-se observar a evolução da rede pluviométrica na bacia Amazônica em diferentes anos:

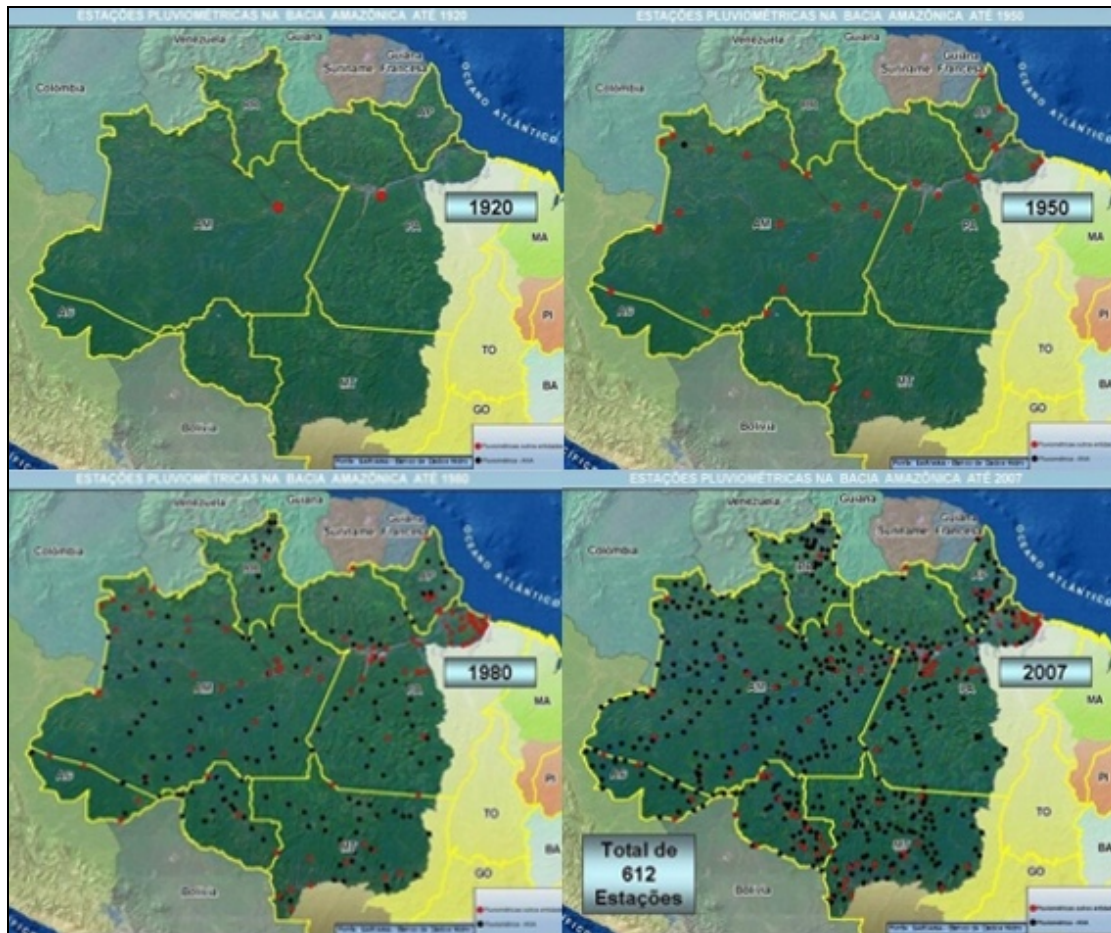


Figura 5.1- Evolução da rede pluviométrica da bacia Amazônica
Fonte - ANA, 2007

Como se observa na Figura 5.1, a rede pluviométrica nos anos 80 contava com poucas estações pluviométricas em operação na região da bacia do rio Madeira, este é um dos fatos que dificultou a escolha da série histórica no presente trabalho.

Atualmente, as estações estão melhor distribuídas e ainda estão sendo implantadas novas estações. Na Figura 5.2 observa-se a localização das diferentes estações hidrometeorológicas na bacia do rio Madeira (Brasil).

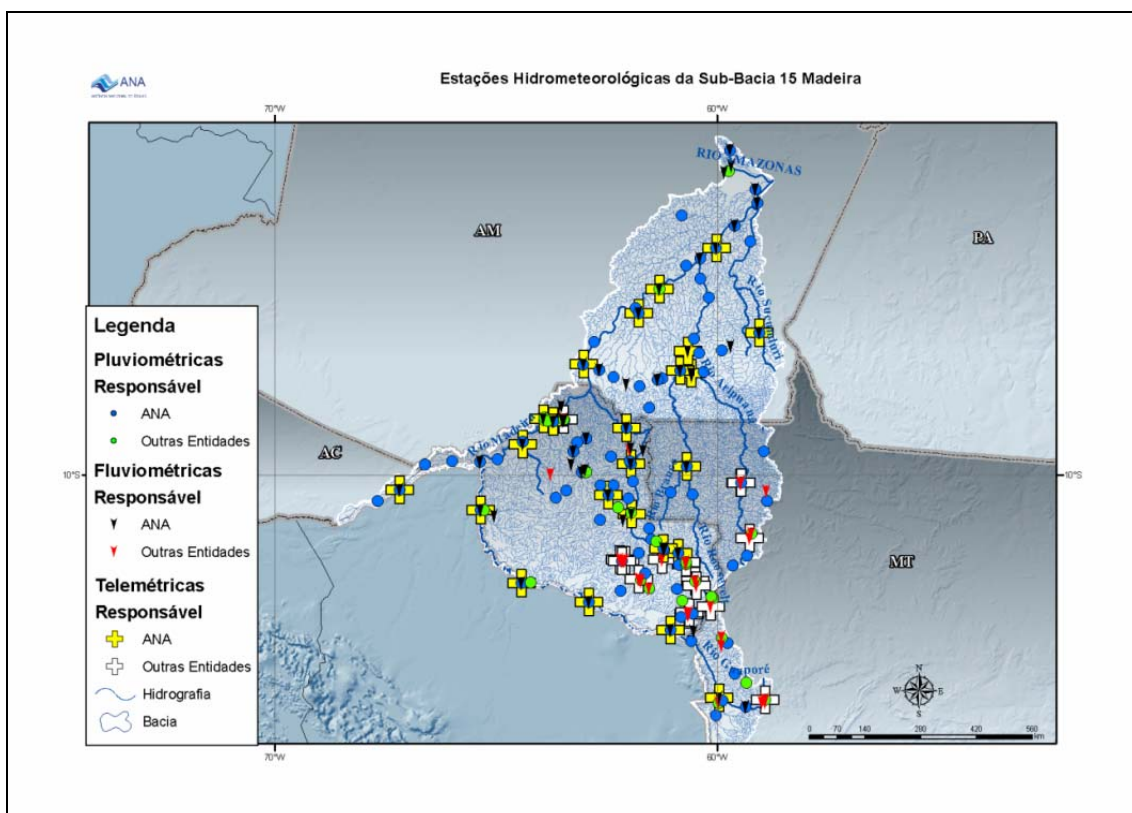


Figura 5.2 - Localização das estações hidrometeorológicas da bacia do rio Madeira
Fonte - ANA, Mar. 2008

5.1.2 - Bolívia

Na Bolívia, existem três organismos principais inter-relacionados no setor hidrometeorológico que operam a nível nacional: o “Sistema de Informação de Segurança Alimentaria e Alerta Temprana” (SINSAAT); a divisão de Meteorologia da Administração de Aeroportos e Serviços Auxiliares à Navegação Aérea (AASANA) e o Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI).

Por outro lado, existem algumas outras pequenas redes hidrometeorológicas dependentes de instituições locais e que ficam mais isoladas.

O SINSAAT instalou numa primeira etapa 65 estações meteorológicas automáticas em todo o país, pelo fato das estações serem modernas, a qualidade e confiabilidade dos dados já não dependem do observador. Isto é importante somente para os projetos

futuros já que os dados coletados destas estações só poderão ser usados em longo prazo.

AASANA é uma instituição que possui estações meteorológicas sinópticas que além de apoiar a navegação aérea entregam informação a outras entidades nacionais e internacionais como o Sistema Mundial de Observação do Clima (SMOC)⁹ da Organização Meteorológica Mundial (OMM). As estações de AASANA se caracterizam principalmente pela boa qualidade e confiabilidade de informação devido ao tipo de instrumentação que possuem as estações localizadas nos aeroportos. Isto se deve também ao fato de que o grupo operador destas estações é bem treinado na coleta e controle da qualidade de informação além da manutenção adequada que recebem os equipamentos. Mesmo sendo uma ótima fonte de informação ela não é suficiente já que conta com poucas estações, as mesmas localizadas somente nos aeroportos do país, deixando as outras zonas com estações que muitas vezes apresentam menor quantidade e qualidade de dados.

Dentre os três organismos inter-relacionados por meio de acordos para intercâmbio de informações, a instituição com maior importância nacional em coleta de dados hidrometeorológicos é o SENAMHI. Os dados usados neste estudo foram obtidos nesta instituição, onde sua sede principal se localiza na cidade de La Paz – Bolívia.

O SENAMHI foi criado na Bolívia em 1964 mediante o Decreto Supremo 8.465. É uma entidade que tem jurisdição própria e gestão autônoma, depende do “Ministério de Desarrollo Sostenible y Planificación”. A instituição conta com quatro departamentos: Departamento de Meteorologia; Departamento de Hidrologia; Departamento de Agrometeorologia e Departamento Administrativo.

O SENAMHI é a entidade que tem a representação internacional do país, mas um dos grandes problemas pelos quais atravessa é o risco da perda de dados por falta

⁹ Dependente da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) estabelecido em 1992 com objetivo de se tornar em um sistema de observação de longo prazo capaz de monitorar o sistema climático, assegurando a obtenção de dados relativos ao clima e sua disponibilização

manutenção das estações (PNCC, 2002). Esta entidade depende principalmente do orçamento do Governo e desde sua criação não tem passado por um processo de institucionalização. Estes fatores reduzem sua capacidade de investir e melhorar o estado da rede hidrometeorológica Nacional. Além disso, na Bolívia não existe uma troca de informação de forma periódica e sistematizada em nível nacional nem internacional. No tema relacionado ao fluxo de informações o SENAMHI atende aos usuários na função de “Serviço Público Comercial”¹⁰.

Quanto à informação Hidrológica, segundo o PNCC (2002), o país tinha instalado 284 estações pluviométricas das quais operavam somente 69, e 147 estações fluviométricas das quais estavam em funcionamento somente 46 (dados até 2002). Esta deficiência se explica pela redução do orçamento ao SENAMHI o que não permite muitas vezes a manutenção adequada das estações levando a perda de muitas e deficiência de outras.

Na Figura 5.3, é apresentada a localização das estações hidrológicas da bacia Amazônica boliviana, que representa a bacia do rio Madeira.

¹⁰ Taxa diferenciada de preços dependendo do tipo de usuários. Por exemplo, usuários como Defesa Civil, Cruz Vermelha, “Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificacion” e Instituições com que o SENAMHI tem convênio, os dados são gratuitos, enquanto que para usuários comerciais ou de investigação os dados devem ser pagos.

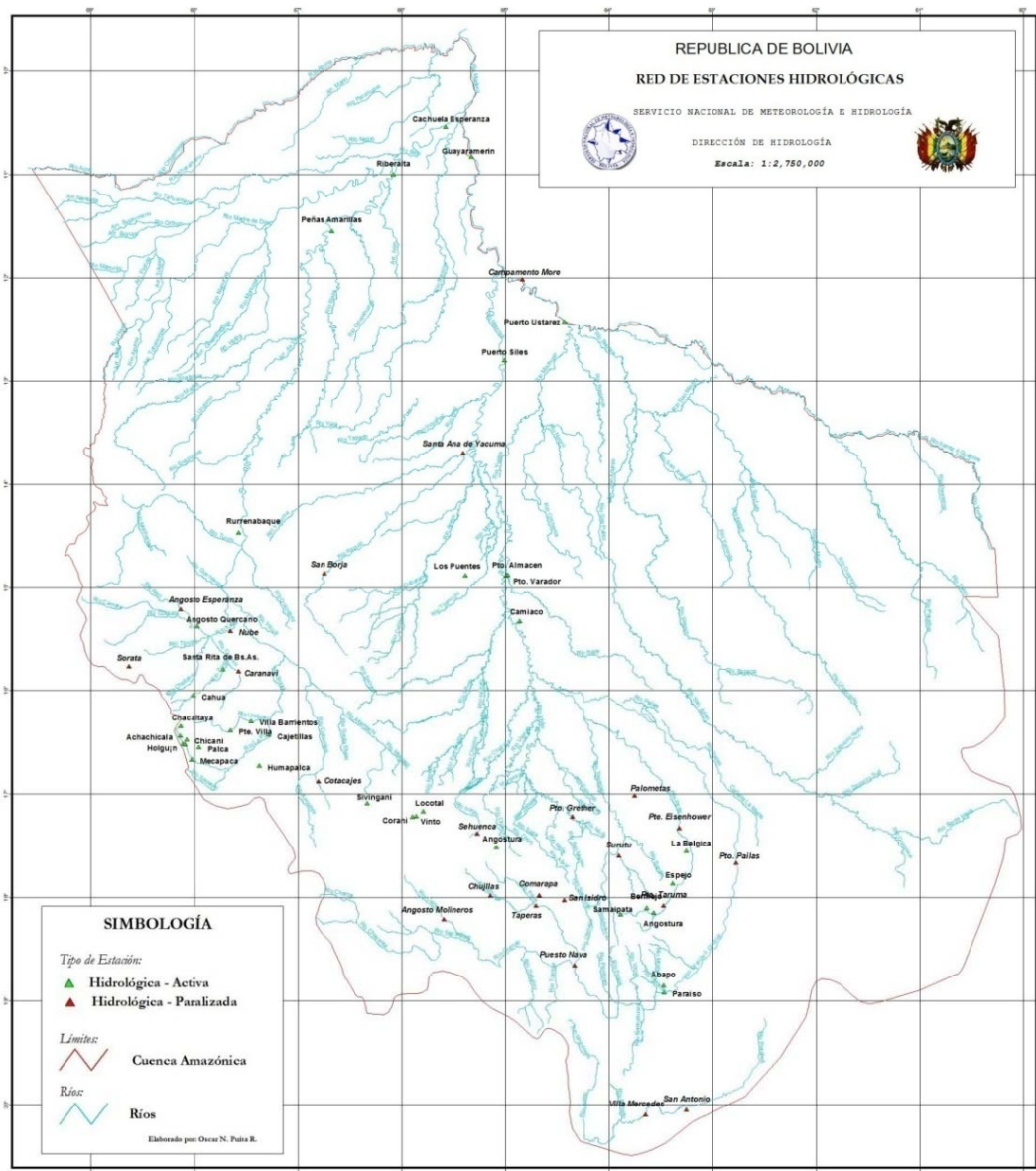


Figura 5.3 - Localização de estações hidrológicas da Bolívia

Fonte - SENAMHI, Ago. 2007

5.2 - A base de dados hidrológicos e o processo de seleção

Os dados pluviométricos mensais de interesse para este estudo foram coletados do SENAMHI (Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia) da Bolívia e junto à Agência Nacional de Águas (ANA) no Brasil. Foram coletados dados de 49 estações na bacia do rio Madeira do lado boliviano, e 101 estações da bacia do lado brasileiro. A análise dos dados foi feita de forma separada para cada país, isto devido as

diferenças existentes entre as bases de dados tanto em formato quanto em tipo de arquivo.

Para a escolha das estações da bacia do Madeira do lado boliviano seguiu-se as seguintes etapas:

- Os dados foram entregues numa base Excel apresentando o nome da estação, coordenadas geográficas, e suas séries históricas correspondentes como se observa na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Base de dados das estações da bacia do Madeira (Bolívia)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Nombre	ABAPO	AIQUILE	APOLO (AA)	ASCENCION	ASUNTA	BOYUIBE	CARANAVI	CHARAZANI	CHIPI
2	Id_Estación	Abapo	Aiquile	ApoloAA	Ascencion	Asunta	Boyuiibe	Caranavi	Charazani	Chipi
3	Captor	JPd	JPd	JPd	JPd	JPd	JPd	JPd	JPd	JPd
4	Unidad	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	Tabla	Pluies	Pluies	Pluies	Pluies	Pluies	Pluies	Pluies	Pluies	Pluies
6	Latitud	-18,9172	-18,1964	-14,72	-14,83333	-16,0886	-20,4167	-15,8303	-15,1636	-16,
7	Longitud	-63,4186	-65,1756	-68,41194	-62,53333	-67,1878	-63,2833	-67,5622	-68,9694	-65,
8										
9	Fecha	P_Abapo	P_Aiquile	P_ApoloA	P_Ascencii	P_Asunta	P_Boyuiibi	P_Carana	P_Charazani	P_Ch
765	dez/79	106,1	108,9	264,9	83,1	325,5	192,2		404,3	
766	jan/80	244,7	113,4	187,6	245,9	239	130,6		254,1	
767	fev/80	133,9	43,3	176,8	420,8	121,5	13,5		3,4	
768	mar/80	138,5		176	162,2	372,5	164,4		10,1	1,
769	abr/80	35,1	18	55,9	179,5	72	8,3		1,2	
770	mai/80	48,5		35,2	27,5	29	27,8		0,3	
771	jun/80	15,2		86,9	16,6	21	35,8		0,1	
772	jul/80	0	8,5	29,6	72,6	76,5	4,4		0,2	
773	ago/80	41,4	30,8	102,7	3,7	118	24,4		1,3	
774	set/80	18,3	51	44,5	48,9	190	0		2,7	
775	out/80	63,5	22	120,8	49,6	251	29,2		0,7	
776	nov/80	15,5	43	165,8	205	61	21		0	
777	dez/80	139,8	31	128,1	102,7	190,5	69,1		76,6	
778	jan/81	129,1	156,2	247,9	438,2	283,5	220,5		159,9	
779	fev/81	140,1	112	419,1	319,3	416	168,2		170	
780	mar/81	281	84	243	115,3	61,5	63,8		142,3	
781	abr/81	130,7	31,5	194,5	137,1	42	186,5		25,3	

- O conjunto de dados das estações pluviométricas da bacia em questão obtidas no SENAMHI foi submetida inicialmente a uma avaliação relativa à ausência de dados. Para tal efeito, foi elaborada uma matriz onde foram identificadas as lacunas das estações, meses ou anos sem dados. A matriz foi criada para verificar e observar em um conjunto de dados maiores do que vinte mil, uma série histórica comum, com a menor quantidade de falhas possível. Na Figura 5.4, é apresentada uma parte desta matriz como exemplo.



Figura 5.4 - Matriz de dados

- Na procura de um período comum nas estações fizeram-se várias tentativas para uma série mais representativa e sem muitas falhas, foram analisadas séries de 30, 25 e 20 anos. Observou-se que a série histórica mais representativa que englobasse os eventos do fenômeno El Niño em estudo (1982-1983; 1997-1998), encontrava-se no período de 1978 – 1998. Finalmente as estações escolhidas dentro deste período e que apresentavam a menor quantidade de falhas foram 24 das 49 estações disponíveis.

No caso dos dados da bacia do rio Madeira do lado brasileiro foram entregues dados de 101 estações pluviométricas, das quais se fez uma escolha prévia segundo os anos de série histórica disponíveis. Analisou-se aquelas em que a série histórica compreendia os anos em estudo 1982-1983, 1997-1998. Finalmente foram escolhidas somente 17 estações do lado brasileiro. O reconhecimento de falhas, lacunas neste caso não precisou da construção da matriz, os dados foram entregues em um arquivo MDB (Access) para serem usados diretamente desde o programa HIDRO disponível

na página Web da Agência Nacional de Águas (ANA). No programa HIDRO, os dados mensais são visualizados apresentando as falhas e lacunas e série histórica de cada estação.

Com estes resultados construiu-se a tabela de dados das estações escolhidas e procedeu-se à regionalização pluviométrica descrita no item a seguir.

5.3 - Regionalização pluviométrica

O conhecimento da distribuição pluviométrica numa bacia é importante para estudos hidrológicos e planejamento de recursos hídricos. Neste estudo fez-se uma regionalização pluviométrica com o fim de conhecer áreas homogêneas de precipitação da bacia do rio Madeira. Para isto, foram usados somente os dados das estações escolhidas com uma série histórica de 21 anos (1978-1998).

Depois da escolha das estações, os dados foram agrupados numa única tabela. Apesar de se ter escolhido estações com séries praticamente completas e sem lacunas, na série histórica de 1978-1998, houve algumas estações que precisaram de um preenchimento de dados em alguns meses. Para isto, usou-se apenas uma média aritmética de todos os registros obtidos em toda a série histórica da estação. Isto é, se a série tinha dados desde 1960 até 2006 considerou-se todo esse período para preencher o mês com lacuna. A partir da tabela com os dados completos, prosseguiu-se o estudo com uma análise de agrupamento de dados.

Para o respectivo agrupamento de dados, utilizaram-se dois métodos: o método hierárquico de Ward e o método de agrupamento k-médias. A utilização de mais de um método deveu-se ao fato de que diferentes métodos aplicados ao mesmo conjunto de dados geram diferentes estruturas. Assim, pode-se verificar as composições dos grupos obtidos por cada um deles e escolher os grupos gerados pelo método que melhor refletisse as características pluviométricas da região.

O método Ward: é um método de agrupamento de dados hierárquico, que forma grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo. Isto equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo. No método de Ward, os grupos de dados são formados em etapas, em princípio, têm-se m grupos, ou seja, um grupo para cada vetor componente da base de dados. Neste estágio inicial o erro interno é nulo para todos os grupos, pois cada vetor que compõe cada grupo é o próprio vetor médio do grupo. Igualmente o desvio padrão para cada grupo é nulo. Na etapa subsequente, cada possibilidade de aglutinação entre os grupos 2 a 2 é verificada, e é escolhido o agrupamento que causa o menor aumento no erro interno do grupo. São $m \times m$ verificações. Desta forma, para uma base de dados com m elevado, estas verificações exigem um grande esforço computacional (MITCHEL *et. al*, 2004)

O método Ward apresenta os resultados através de um diagrama de árvore ou dendograma, cujas ligações representam a intensidade da semelhança entre os objetos com é mostrado na Figura 5.6.

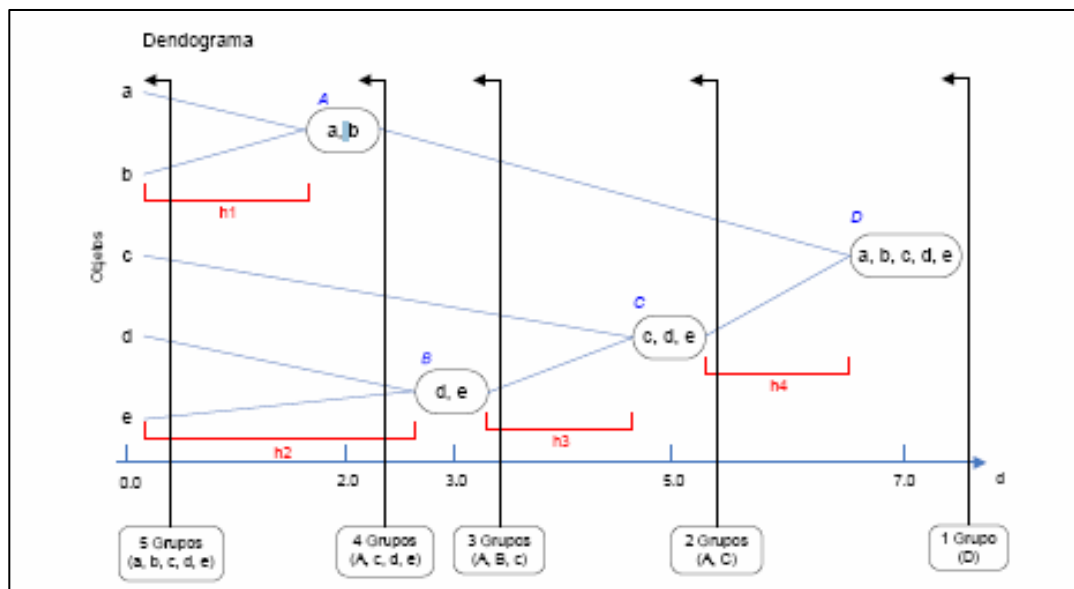


Figura 5.6 – Dendrograma de método hierárquico aglomerativo

Fonte - (DO VALE, 2005)

Analisando o gráfico, observa-se que existem inicialmente cinco agrupamentos (a, b, c, d, e). Os agrupamentos a e b serão agrupados para formar o grupo único A , com uma medida de similaridade entre ambos definida pela altura h_1 . Assim por diante, irão se formando os grupos com suas respectivas medidas de similaridade até chegar em um único agrupamento (DO VALE, 2005). Observa-se que, quanto maior a altura h , menos homogêneos são os grupos.

O método das k médias é um método não hierárquico e um dos mais populares das técnicas particionais (FUNG, 2001), é um algoritmo que necessita a priori um número de agrupamentos k . Diferentemente dos métodos hierárquicos, o método das k médias não cria um dendograma ou diagrama de árvore e é um método adequado para grandes quantidades de dados. O algoritmo k -médias busca os centros de agrupamento pela minimização direta do critério de erro calculado em função da distância (EVSUKOFF, 2005). Um problema encontrado, neste método, é que deve ser pré-definido o número de agrupamentos. Em alguns casos não é possível ter uma idéia concreta de quantos grupos podem ser definidos. Então nem sempre o número de agrupamentos definido pode ser o ideal. O algoritmo k -médias tem uma inicialização aleatória que exige um processo iterativo até que a estabilidade dos grupos seja definida. Assim, depois da aplicação de método Ward, foi aplicado o método k médias com várias repetições de agrupamentos até encontrar a estabilidade no grupo.

Para definir a quantidade ideal de agrupamentos usou-se a técnica de métricas de validação. As métricas de validação são chamadas também índices de validação de agrupamentos de dados. Objetivam estabelecer qual partição possui uma melhor estrutura de agrupamento em um conjunto de dados não conhecido. Assim neste trabalho o índice adotado foi o PBM (sigla definida pelos sobrenomes dos autores) (PAKHIRA *et al.*, 2003). Para uma melhor compreensão de como o índice PBM é calculado, são apresentadas as seguintes notações (equações):

$$\text{PBM}(K) = \left(\frac{1}{K} \times \frac{E_K}{E_K} \times D_K \right)^2 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde, K é o número de agrupamentos

E_K pode ser calculado com a seguinte equação;

$$E_K = \sum_{k=1}^K E_k, \quad \text{Equação (1.1)}$$

Tal que;

$$E_k = \sum_{j=1}^n u_{kj} \|x_j - z_k\| \quad \text{Equação (1.2)}$$

Onde n, é o número total de dados.

e;

$$D_K = \max_{i,j=1}^K \|z_i - z_j\| \quad \text{Equação (1.3)}$$

O objetivo é maximizar a Equação (1.3), que por sua vez maximizará o índice. Depois de algumas ou várias tentativas, o maior índice obtido determinará o melhor número de particionamento (PAKHIRA, *et al.*, 2003). O programa utilizado para a validação com o índice PBM foi o Matlab (MATrix LABoratory).

Para o agrupamento de dados por meio do método Ward, utilizou-se como ferramenta o programa STATISTICA, a partir desde este programa, foi importada a tabela de dados e foi gerado o dendograma de agrupamento ou diagrama de árvore utilizando como medida de ligação a distância euclidiana quadrática. O dendograma mostrou claramente a divisão de três grupos dos dados como será observado no capítulo de resultados.

Para o agrupamento mediante a técnica de k médias, foi usado também o programa STATISTICA, mas dessa vez, o número de agrupamentos foi escolhido apriori. Várias tentativas foram simuladas, até observar uma estabilidade nos grupos.

Ambas as técnicas lançaram resultados com tendências similares em alguns grupos. Finalmente para a definição dos grupos fez-se uso do índice PBM (índice de validação) com ajuda do programa *MATLAB* (MATrix LABoratory), chegando à definição dos grupos quando este índice foi máximo. Isto aconteceu com um número de quatro agrupamentos ($k=4$).

5.4 - Análise pluviométrica da bacia do rio Madeira e influência do fenômeno El Niño nas precipitações

Para a análise pluviométrica verificou-se a sazonalidade da bacia, foram elaboradas tabelas de dados, hietogramas, mapas e gráficos com a finalidade de observar melhor o regime pluviométrico na bacia no período de estudo. Realizou-se a análise para cada uma das estações, identificando aquelas com maiores particularidades. Os hietogramas gerados serviram para uma melhor observação das precipitações em cada estação. Além disso, verificou-se a existência ou não de uma relação entre a altitude e a precipitação por meio de gráficos que serão apresentados no capítulo dos resultados e no Anexo I.

Para uma melhor observação da distribuição espacial de chuvas na bacia do rio Madeira e com base nos dados de precipitações médias anuais das estações no período de estudo, foi gerado um mapa pluviométrico representado por isopletas, que indicam a pluviosidade por regiões, de acordo com a gradação de cores.

Com a finalidade de comparação, um outro mapa foi gerado através do modelo *WORLDCLIM*¹¹, modelo este desenvolvido por pesquisadores de várias instituições de Califórnia, Austrália e Colômbia.

O *WORLDCLIM* é um modelo pluviométrico que foi gerado através do software *ANUSPLIN*, por meio de interpolação, utilizando um sistema de informações com

¹¹ Produto que foi reconhecido através do artigo publicado pelo International Journal of Climatology que faz parte da Royal Meteorological Society

dados de estações pluviométricas de praticamente todo o mundo, com exceção da Antártida. Os períodos usados são de 50 anos (1950-2000) ou de 30 anos (1960-1990), de acordo com a disponibilidade das informações adquiridas de diversas instituições internacionais. O método interpolador utilizado é conhecido como SPLINE e considerou, além dos dados de pluviosidade, a disponibilidade do relevo existente buscando proporcionar melhor acuidade do produto final. O resultado final foi um modelo digital de elevação (ou modelo numérico de terreno) com resolução aproximada de 1 km², que se encontra disponível para obtenção gratuita no endereço www.worldclim.org. Além dos dados pluviométricos, existem também informações de temperatura e de altimetria que proporcionam outras utilizações diversas (HJIMANS *et al.*, 2005).

Dessa maneira o mapa pluviométrico com dados do WORLDCLIM foi obtido por meio de um corte espacial realizado com base no polígono da área de estudo relativa à bacia do rio Madeira. Os procedimentos de edição desses dados foram realizados no software ArcGis 9.2 por meio do aplicativo ArcToolBox e, posteriormente, foram classificados possibilitando a comparação com os dados obtidos através do mapa pluviométrico gerado pelas estações existentes na área de estudo.

Como última etapa, procedeu à identificação das estações que tiveram influência nas precipitações nos anos de ocorrência do fenômeno El Niño, isto é 1982 -1983 e 1997-1998. Conforme os hietogramas gerados, observaram-se os registros das maiores e menores precipitações no período de abril de 1982 à junho de 1983 e no período de abril de 1997 à maio de 1998¹². Em seguida, levando-se em consideração os grupos gerados para as regiões homogêneas, escolheram-se de cada grupo as estações mais representativas quanto à variação de precipitações comparando os meses correspondentes ao período do “El Niño” e as médias mensais de todo o período escolhido (1978-1998). Dessa maneira para uma melhor visualização foram gerados

¹² Períodos de início e fim do fenômeno El Niño, segundo o critério de Trenberth (1997)

gráficos dos registros pluviométricos no período comparados com as precipitações médias mensais da série histórica (1978-1998). Finalmente foram descritas as características das estações que tiveram maior influência na precipitação desses anos.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo buscou analisar o comportamento da pluviosidade na bacia do rio Madeira. Para atingir tal objetivo, adotou-se uma metodologia dividida em etapas com seus respectivos resultados, objetivos alcançados e dificuldades encontradas no caminho percorrido.

Portanto, neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos na análise pluviométrica da bacia do rio Madeira (Brasil e Bolívia). Foram utilizados gráficos e tabelas para promover um maior entendimento dos resultados apresentados. A seqüência do capítulo é apresentada a seguir.

6.1- A base de dados hidrológicos e o processo de seleção

Para o desenvolvimento deste trabalho, como já foi descrito na metodologia, obtiveram-se bases de dados de precipitação mensal da bacia do rio Madeira. Essas bases foram obtidas em instituições tanto do Brasil quanto da Bolívia: a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrología (SENAMHI), respectivamente.

A escolha de estações foi feita separadamente para o Brasil e para a Bolívia. Esta escolha foi baseada na quantidade e qualidade dos dados pluviométricos, além de uma série histórica representativa que envolvesse os dois eventos do fenômeno El Niño em estudo (1982-1983 e 1997-1998). Cabe destacar que esta tarefa não foi simples por diferentes aspectos que são abordados a seguir.

- Os dados da Bolívia, em relação à quantidade de estações, eram reduzidos para o tamanho da bacia boliviana (aproximadamente 700.000 km²) pois apresentavam apenas 49 estações pluviométricas disponíveis. Apesar das estações apresentarem séries históricas com períodos longos (em alguns casos, maiores que 50 anos), em

algumas delas, há uma quantidade grande de lacunas. Assim, inicialmente foi escolhido um período de 30 anos e, posteriormente, passou-se para um período de 21 anos (com início no ano 1978 até 1998), já que foram levadas em consideração estações que apresentavam maior qualidade dos dados.

Na Tabela 6.1 estão listadas as estações escolhidas do lado boliviano (24 estações), com informação sobre a localização (latitude, longitude), altitude (em metros com referência ao nível do mar) e o departamento/estado a que pertencem.

Tabela 6.1 - Estações escolhidas na bacia do Madeira (lado boliviano)

NOME	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	DEPARTAMENTO/PROVINCIA
ABAPO	-18.92	-63.42	450	SANTA CRUZ/CORDILLERA
ASCENCION DE GUARAYO	-14.83	-62.53	198	SANTA CRUZ/GUARAYOS
CHULUMANI	-16.40	-67.52	1752	LA PAZ/SUD YUNGAS
CONCEPCION	-16.13	-62.02	496	SANTA CRUZ/ÑUFLO DE CHAVEZ
EL TROMPILLO	-17.75	-63.17	437	SANTA CRUZ/A. IBAÑEZ
GUAYARAMERIN	-10.82	-65.35	120	BENI/VACA DIEZ
LA JOTA	-17.00	-65.17	264	COCHABAMBA/CARRASCO
LA PAZ - CHUQUIAGUILLO	-16.45	-68.09	4084	LA PAZ/MURILLO
LURIBAY	-17.06	-67.66	2644	LA PAZ/LOAYZA
MAGDALENA	-13.33	-64.15	183	BENI/ITÉNEZ
OKINAWA I	-17.22	-62.89	280	SANTA CRUZ/SANTIESTEVEAN
PAROTANI	-17.57	-66.34	2500	COCHABAMBA/QUILLACOLLO
QUIABAYA	-15.62	-68.71	3161	LA PAZ/LARECAJA
RIBERALTA	-11.01	-66.08	122	BENI/VACA DIEZ
RURRENABAQUE	-14.43	-67.50	202	BENI/BALLIVIAN
SAN IGNACIO DE MOXOS	-14.97	-65.63	160	BENI/MOXOS
SAN IGNACIO DE VELASCO	-16.37	-60.97	412	SANTA CRUZ/J.M. DE VELASCO
SAN JAVIER	-16.33	-62.63	674	SANTA CRUZ/ÑUFLO DE CHAVEZ
SAN JOAQUIN	-13.67	-64.82	152	BENI/MAMORÉ
SAN JOSE DE CHIQUITO	-17.84	-60.78	297	SANTA CRUZ/CHIQUITOS
SANTA ANA DE YACUMA	-13.75	-65.43	122	BENI/YACUMA
SANTA CRUZ	-17.79	-63.18	443	SANTA CRUZ/A. IBAÑEZ
SAPECHO	-15.55	-67.33	395	LA PAZ/SUD YUNGAS
TRINIDAD	-14.82	-64.92	157	BENI/CERCADO

- No caso do Brasil, a base de dados que foi analisada apresentava uma quantidade de estações superior à base de dados da Bolívia. Para se ter uma idéia, esta base de dados apresentava, inicialmente, 101 estações disponíveis, enquanto a base de dados da Bolívia apenas 49 estações. Porém, na escolha, a quantidade não fez diferença, já que a maioria das estações da bacia do Madeira (lado brasileiro) são estações com séries históricas novas e, em muitos casos, inferiores a 20 anos. Além

disso, algumas estações que apresentavam séries históricas maiores, não se encaixavam nos anos estudados do fenômeno. Com relação a falhas, as estações brasileiras também ofereciam lacunas em alguns anos. Dessa maneira, das 101 estações brasileiras, foram escolhidas 17, conforme pode ser observado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Estações escolhidas na bacia do Madeira (lado brasileiro)

NOME	Estação	Latitude	Longitude	Altitude	Estado/Município
BORBA	459000	-4.39	-59.60	25	AM/BORBA
NOVO ARIPUANÃ	560000	-5.12	-60.38	33	AM/NOVO ARIPUANÃ
SANTAREM SUCUNDURI	658000	-6.80	-59.04	49	AM/APUÍ
SERINGAL JENIPAPO	660000	-6.00	-60.19	60	AM/NOVO ARIPUANÃ
SÃO RAFAEL	661000	-6.25	-61.84	58	AM/HUMAITÁ
PRAINHA VELHA	760000	-7.25	-60.40	107	AM/NOVO ARIPUANÃ
BOCA DO GUARIBA	760001	-7.68	-60.30	60	AM/NOVO ARIPUANÃ
TABAJARA	862000	-8.93	-62.05	96	RON/MACHADINHO D'OESTE
MINERAÇÃO JACUNDÁ	962001	-9.18	-62.95	86	RON/PORTO VELHO
ARIQUEMES	963000	-9.93	-63.06	168	RON/ARIQUEMES
NOVA CALIFORNIA	966000	-9.76	-66.61	153	RON/PORTO VELHO
HUMBOLDT	1059000	-10.17	-59.45	181	MATO GROSSO/ARIPUANÃ
JIPARANÁ	1061001	-10.85	-61.93	156	RON/JIPARANÁ
JARU	1062001	-10.45	-62.47	146	RON/JARU
SERINGAL 70	1062002	-10.24	-62.63	217	RON/JARU
PONTES E LACERDA	1559000	-15.22	-59.35	240	MATO GROSSO/PONTES E LACERDA
MATO GROSSO	1559006	-15.06	-59.87	200	MATO GROSSO VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE

Desse modo, o total de estações a serem analisadas, dentro da bacia do Madeira (Brasil e Bolívia), somaram 41. Cabe ressaltar que a escolha procurou ter uma distribuição espacial adequada, com a finalidade de estudar as chuvas em zonas da bacia em áreas montanhosas, planas e intermediárias. Na Figura 6.1, observa-se a distribuição espacial das estações escolhidas.

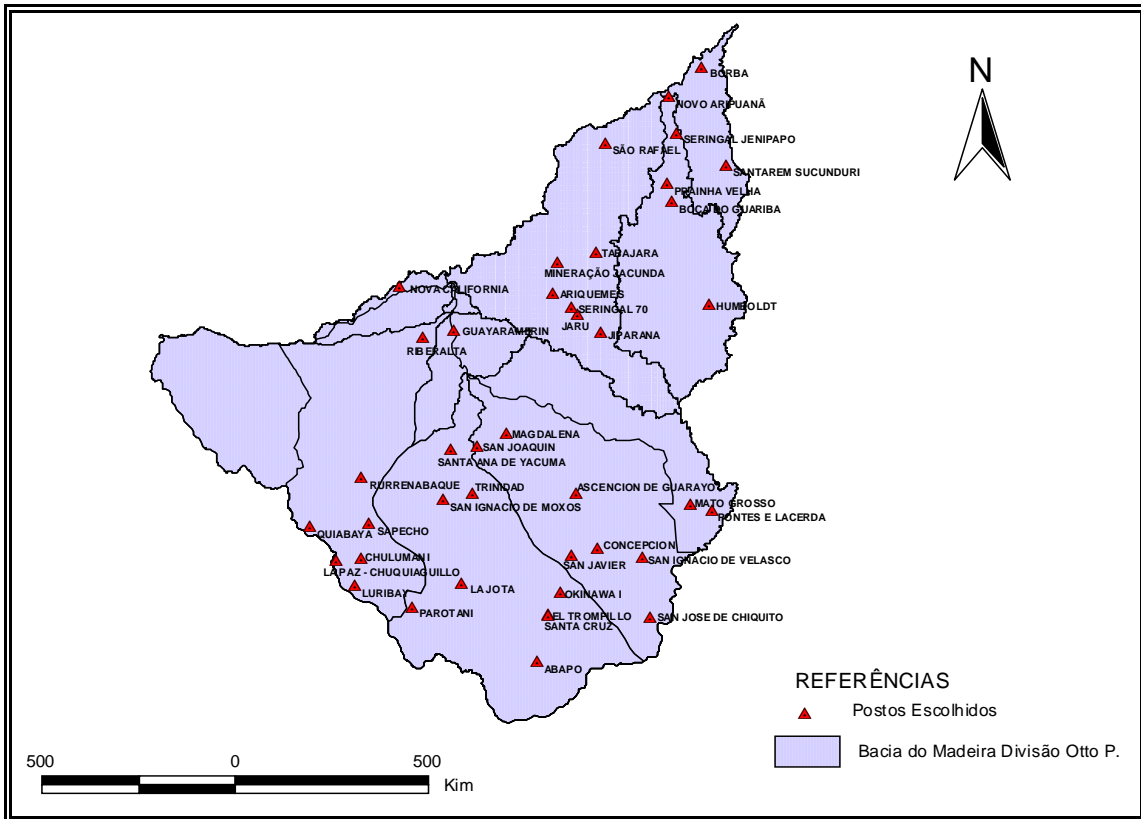


Figura 6.1 - Localização das estações escolhidas na bacia do rio Madeira

A continuação da listagem do total de estações escolhidas é mostrada na Tabela 6.3, organizadas a partir da altitude que, por sua vez, diferem desde os 25 até mais de 4000 metros acima do nível do mar. Pode-se verificar que as estações com maior altitude encontram-se no departamento de La Paz – Bolívia, o qual representa a zona Andina da bacia.

Tabela 6.3 - Estações escolhidas na bacia do rio Madeira (Brasil – Bolívia)

N	NOME	ESTADO/DPTO	LAT	LONG	ALTITUDE
1	BORBA	AMAZONAS	-4,39138889	-59,59833333	25
2	NOVO ARIPUANÃ	AMAZONAS	-5,12111111	-60,38305556	33
3	SANTAREM SUCUNDURI	AMAZONAS	-6,79527778	-59,04083333	49
4	SÃO RAFAEL	AMAZONAS	-6,24777778	-61,83916667	58
5	BOCA DO GUARIBA	AMAZONAS	-7,68333333	-60,30000000	60
6	SERINGAL JENIPAPO	AMAZONAS	-6,00027778	-60,18777778	60
7	MINERAÇÃO JACUNDA	RONDONIA	-9,17916667	-62,95305556	86
8	TABAJARA	RONDONIA	-8,93333333	-62,05388889	96
9	PRAINHA VELHA	AMAZONAS	-7,25000000	-60,40000000	107
10	GUAYARAMERIN	BENI	-10,81689000	-65,34879000	120
11	RIBERALTA	BENI	-11,00629000	-66,07603000	122
12	SANTA ANA DE YACUMA	BENI	-13,74806000	-65,42973000	122
13	JARU	RONDONIA	-10,44583333	-62,46555556	146
14	SAN JOAQUIN	BENI	-13,66667000	-64,81667000	152
15	NOVA CALIFORNIA	RONDONIA	-9,75555556	-66,61166667	153
16	JIPARANA	RONDONIA	-10,84944444	-61,93055556	156
17	TRINIDAD	BENI	-14,81833000	-64,91695000	157
18	SAN IGNACIO DE MOXOS	BENI	-14,96865000	-65,63251000	160
19	ARIQUEMES	RONDONIA	-9,93166667	-63,05694444	168
20	HUMBOLDT	MATO GROSSO	-10,17472222	-59,45083333	181
21	MAGDALENA	BENI	-13,33333000	-64,15000000	183
22	ASCENCION DE GUARAYO	SANTA CRUZ	-14,83333000	-62,53333000	198
23	MATO GROSSO	MATO GROSSO	-15,06333333	-59,87305556	200
24	RURRENABAQUE	BENI	-14,42967000	-67,50315000	202
25	SERINGAL 70	RONDONIA	-10,23638889	-62,62722222	217
26	PONTES E LACERDA	MATO GROSSO	-15,21555556	-59,35361111	240
27	LA JOTA	COCHABAMBA	-16,99500000	-65,17139000	264
28	OKINAWA I	SANTA CRUZ	-17,21611000	-62,89139000	280
29	SAN JOSE DE CHIQUITO	SANTA CRUZ	-17,84306000	-60,78333000	297
30	SAPECHO	LA PAZ	-15,54750000	-67,33361000	395
31	SAN IGNACIO DE VELAS	SANTA CRUZ	-16,37167000	-60,96917000	412
32	EL TROMPILLO	SANTA CRUZ	-17,75000000	-63,17028000	437
33	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	-17,78528000	-63,18333000	443
34	ABAPO	SANTA CRUZ	-18,91722000	-63,41861000	450
35	CONCEPCION	SANTA CRUZ	-16,13250000	-62,02333000	496
36	SAN JAVIER	SANTA CRUZ	-16,33333000	-62,63333000	674
37	CHULUMANI	LA PAZ	-16,40389000	-67,51861000	1752
38	PAROTANI	COCHABAMBA	-17,56611000	-66,34361000	2500
39	LURIBAY	LA PAZ	-17,05889000	-67,65560000	2644
40	QUIABAYA	LA PAZ	-15,62250000	-68,70556000	3161
41	LA PAZ - CHUQUIAGUIL	LA PAZ	-16,44972000	-68,09250000	4084

6.2 - Regionalização pluviométrica

A regionalização pluviométrica foi realizada usando os métodos de agrupamento de dados, com ajuda dos programas STATISTICA e MATLAB .

O primeiro agrupamento de dados foi obtida com o método de Ward. A escolha do número de agrupamentos realizou-se através do corte no dendrograma, efetuado onde

se observa maior nível de similaridade, obtendo-se, assim, três regiões definidas. Esse número de regiões foi considerado satisfatório, pois cada uma dessas regiões apresentou um número representativo de estações hidrológicas. A Figura 6.2 mostra os resultados do dendograma com a divisão dos grupos.

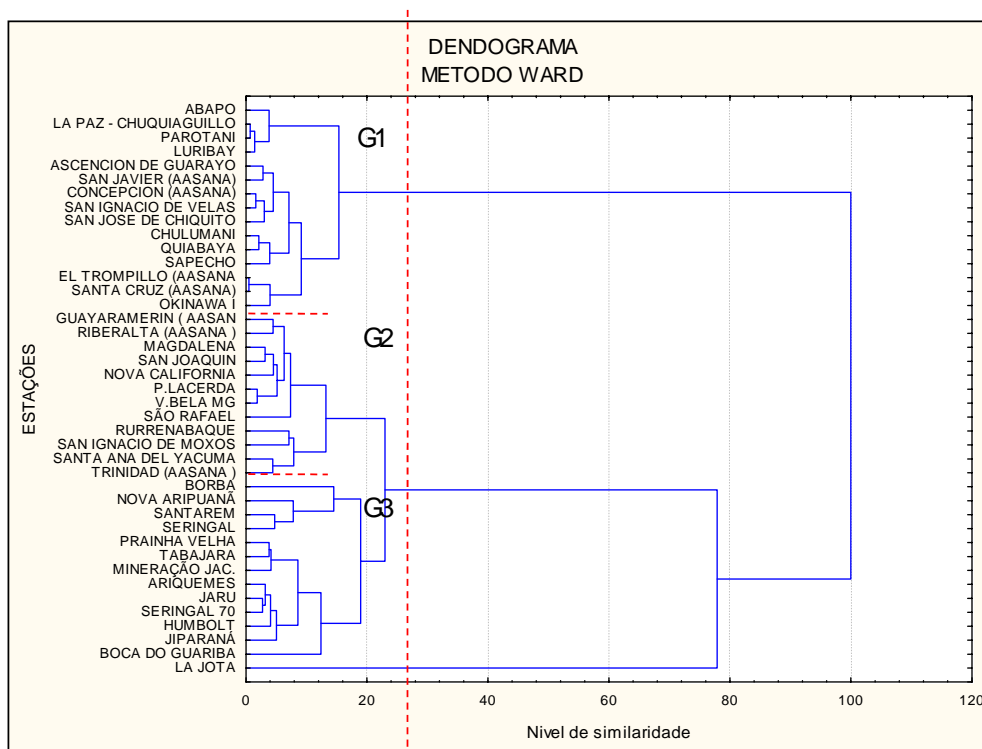


Figura 6.2 – Dendograma de agrupamento (método Ward)

O gráfico do dendograma mostra que as estações do Grupo 1 (G1), além de se encontrarem na Bolívia, estão relativamente próximas, ocupando a parte sul e sudoeste da bacia. No Grupo 2 (G2), observam-se estações em regiões diferentes e, em alguns casos, bem afastadas umas das outras, indicando que a proximidade física das localidades não garante a semelhança pluviométrica entre elas, devido a fatores físicos e climáticos. O Grupo 3 (G3) mostra um agrupamento correspondente à região Nordeste da bacia, com exceção de uma única estação que não se enquadra nos padrões e que poderia ser considerada como um quarto agrupamento. Esta estação, denominada LA JOTA, encontra-se na parte sudoeste da bacia, na Bolívia. Verificou-

se que esta estação recebe chuvas muito maiores que qualquer outra das estudadas, sendo um caso individual e podendo formar um quarto grupo.

Para os agrupamentos gerados pelo método *k-médias*, inicialmente foram lançadas algumas hipóteses de divisão, testaram-se possibilidades com *k* agrupamentos e a variável *k* foi assumindo valores desde nove até três, gerando desta forma varios agrupamentos a serem validados.

Com a finalidade de escolha e validação do melhor agrupamento, usou-se o índice de validação PBM, obtendo-se a melhor partição quando o índice atingiu o valor máximo, sendo que isso aconteceu para uma divisão de quatro grupos.

Os grupos gerados pelo método *k-médias* apresentam similaridade aos grupos gerados pelo método Ward. Porém, o método *k-médias* ofereceu uma maior estabilidade nos grupos. Finalmente, os agrupamentos gerados por esse método foram quatro, que são apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Grupos gerados pelo método *k – médias*.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
ABAPO	ARIQUEMES	LA JOTA	BORBA
ASCENCION DE GUARAYO	BOCA DO GUARIBA		GUAYARAMERIN
CHULUMANI	HUMBOLT		MAGDALENA
CONCEPCION (AASANA)	JARU		NOVA CALIFORNIA
EL TROMPILLO (AASANA)	JIPARANÁ		NOVO ARIPUANÃ
LA PAZ - CHUQUIAGUILLO	MINERAÇÃO JAC.		RIBERALTA (AASANA)
LURIBAY	PRAINHA VELHA		SAN JOAQUIN
OKINAWA I	RURRENABAQUE		SANTA ANA DEL YACUMA
PAROTANI	SAN IGNACIO DE MOXOS		SANTAREM
P.LACERDA	SERINGAL 70		SÃO RAFAEL
QUIABAYA	TABAJARA		SERINGAL JENIPAPO
SAN IGNACIO DE VELAS	TRINIDAD (AASANA)		
SAN JAVIER (AASANA)			
SAN JOSE DE CHIQUITO			
SANTA CRUZ (AASANA)			
SAPECHO			
V.BELA MG			

Cabe ressaltar que o método *k-médias* mostrou uma certa diferença dentro dos resultados apresentados no software STATISTICA. Observou-se uma variação em relação a quatro estações no interior do Grupo 1. Verificou-se que ambos os métodos,

(Ward e k-médias) apresentam, dentro do Grupo 1, estas quatro estações (Abapó, Chuquiaguillo, Parotani e Luribay). Desta maneira e para um melhor entendimento deste agrupamento, aplicou-se novamente o método Ward somente para este grupo. No dendograma gerado, observou-se dois grupos com uma distância de ligação considerável, como é mostrado na Figura 6.3.

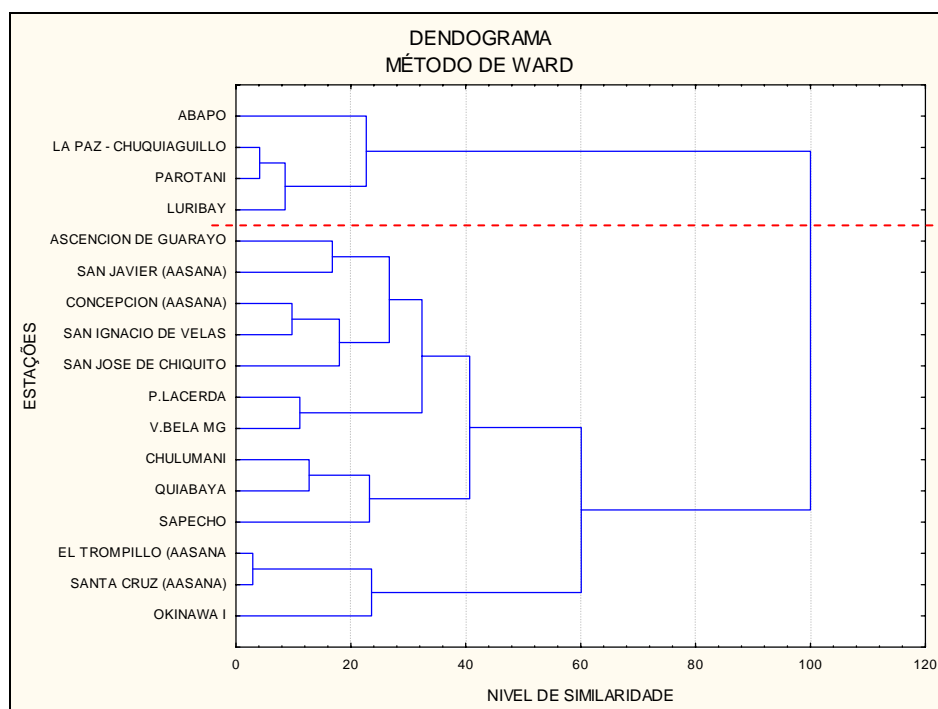


Figura 6.3 – Dendograma de agrupamento (Grupo 1- k-médias)

Conseqüentemente, o Grupo 1 foi dividido em dois sub-grupos, obtendo-se assim o Grupo 1a e o Grupo 1b.

Um outro aspecto a ser levado em consideração foi o agrupamento 3, que está composto por um só elemento, a estação La Jota. Esta estação, assim como no método Ward, apresentou muita variação em relação às outras estações segundo ao nível de similaridade, o que pode ser explicado principalmente porque a chuva nessa estação atinge uma média de mais de 4300 mm e não se encontra na faixa de precipitação das outras estações estudadas e portanto, foi considerada individualmente.

Desta maneira, é importante destacar que os resultados obtidos por ambos os métodos são complementares, pois existem similaridades entre pluviômetros, capazes de confundir o algoritmo de agrupamento resultando, em alguns casos, a formação de sub-grupos dentro de um mesmo grupo, com características diferentes de precipitação. Finalmente, o método adotado foi o método k-médias, com as variações que o dendograma de Ward mostrou no interior do Grupo 1.

Na Figura 6.4 observa-se a localização dos diferentes grupos homogêneos, mostrando que existem estações que pertencem a um mesmo grupo, mas que se encontram em regiões diferentes. Isto se deve às características físicas e climáticas da região.



Figura 6.4 – Grupos homogêneos de precipitação na bacia do rio Madeira

Por fim, para a verificação da similaridade entre os grupos gerados, foram elaborados gráficos de precipitação acumulada e de sazonalidade, o que propiciou uma avaliação da proximidade entre as estações no interior de cada grupo. Estes gráficos são apresentados nas Figuras 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9.

GRUPO 1a:

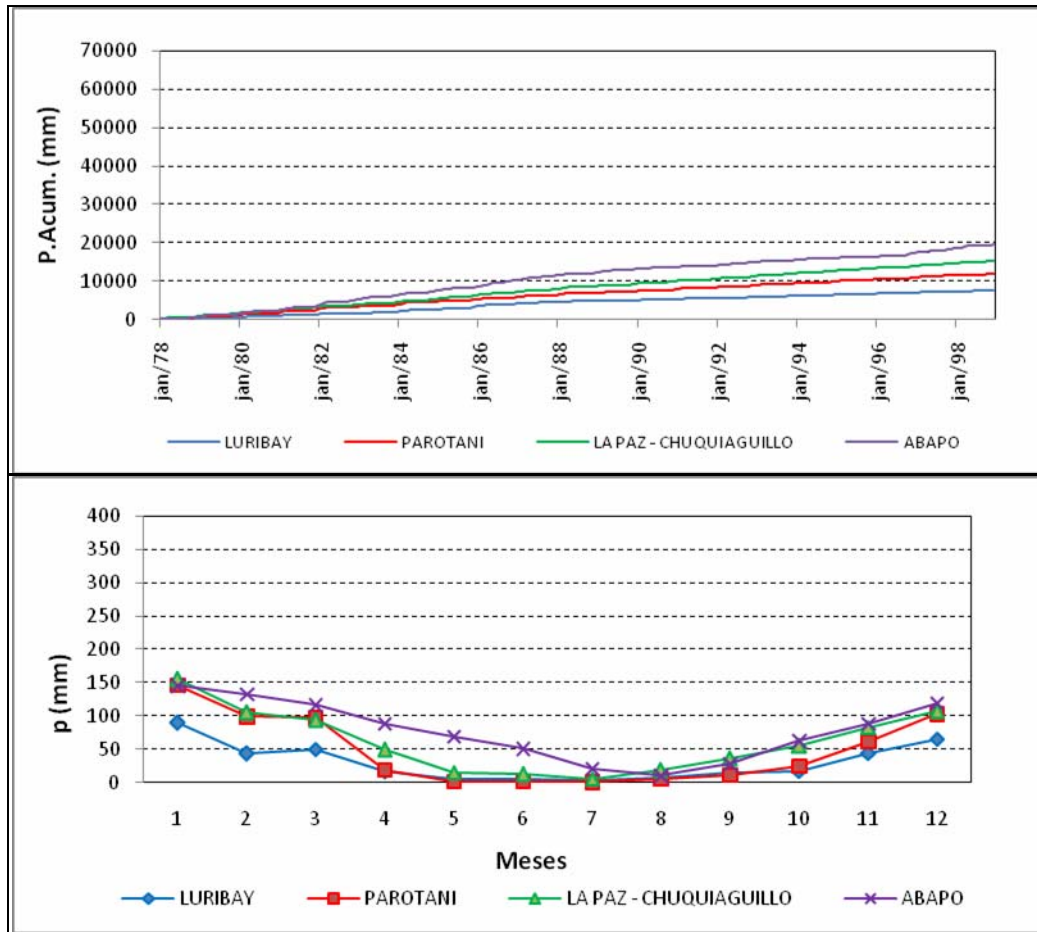


Figura 6.5- Precipitação acumulada / Diagrama de Sazonalidade (Período 1978-1998) **Grupo 1a**

Observa-se que estas quatro estações, além de terem apresentado uma variação com relação ao Grupo 1, apresentam variação pluviométrica entre elas mesmas. As três primeiras encontram-se na parte sudoeste e a última (Abapó) no sul da Bolívia. Estas primeiras três estações pertencem à zona andina, com altitudes que variam desde os 2600 até 4100 metros e recebem menor quantidade de precipitação, em especial, a estação de Luribay. A estação Abapó está localizada na planície oriental (ou llanos

orientais), a uma altitude de 450 metros. Em relação à sazonalidade, as quatro estações apresentam a estação chuvosa entre os meses de novembro e março.

GRUPO 1b:

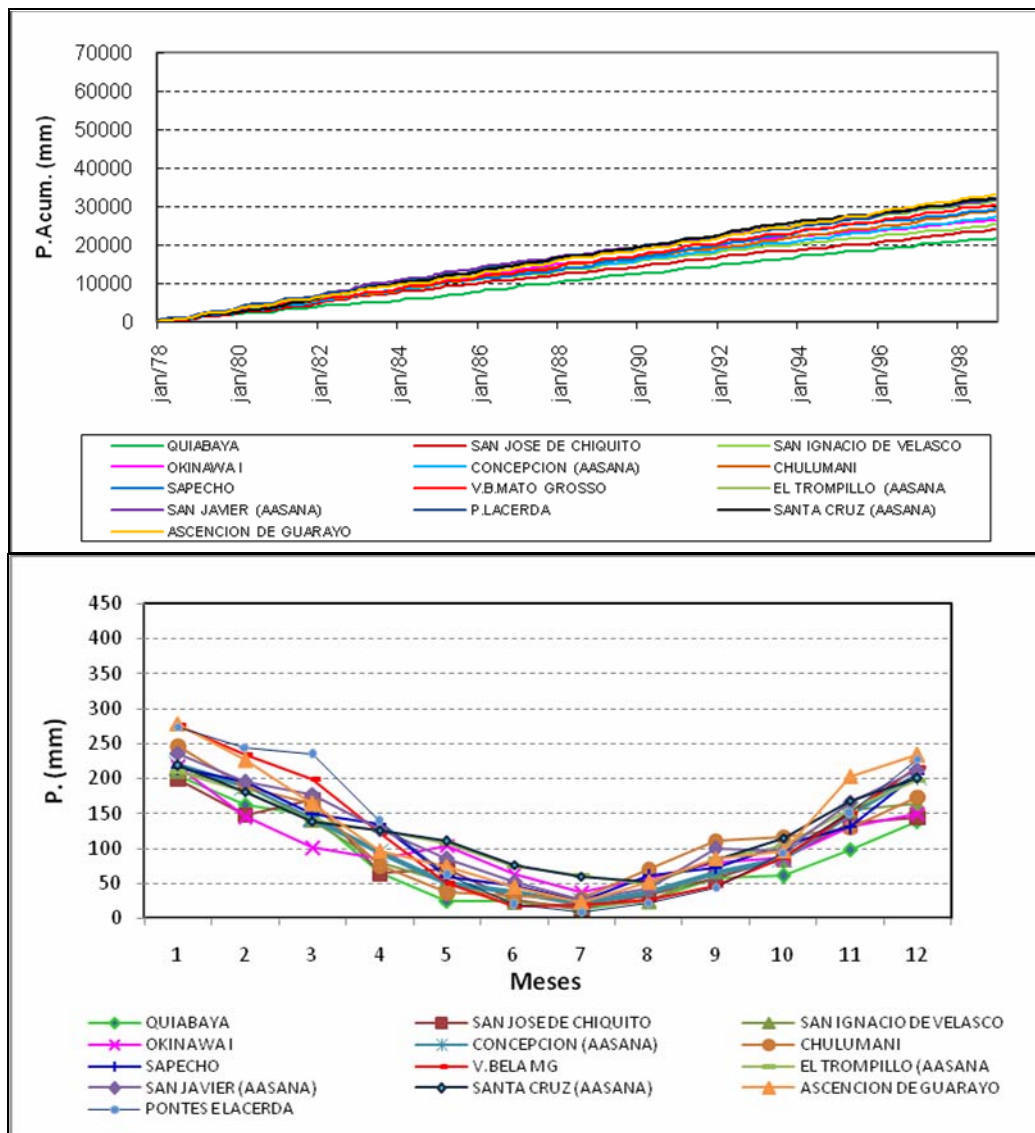


Figura 6.6 - Precipitação acumulada / Diagrama de Sazonalidade (Período 1978-1998) Grupo 1b.

No Grupo 1b, as curvas de precipitação acumulada mostram a similaridade entre as estações do grupo. A estação com menor quantidade de precipitação acumulada no período considerado é Quiabaya. Esta estação está localizada na cidade de La Paz, a 3162 metros acima do nível do mar. Apesar de ser a estação de menor precipitação neste grupo, recebe uma média anual de mais de 1000 mm aproximadamente. O

grupo apresenta a mesma sazonalidade, ou seja, os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro.

GRUPO 2:

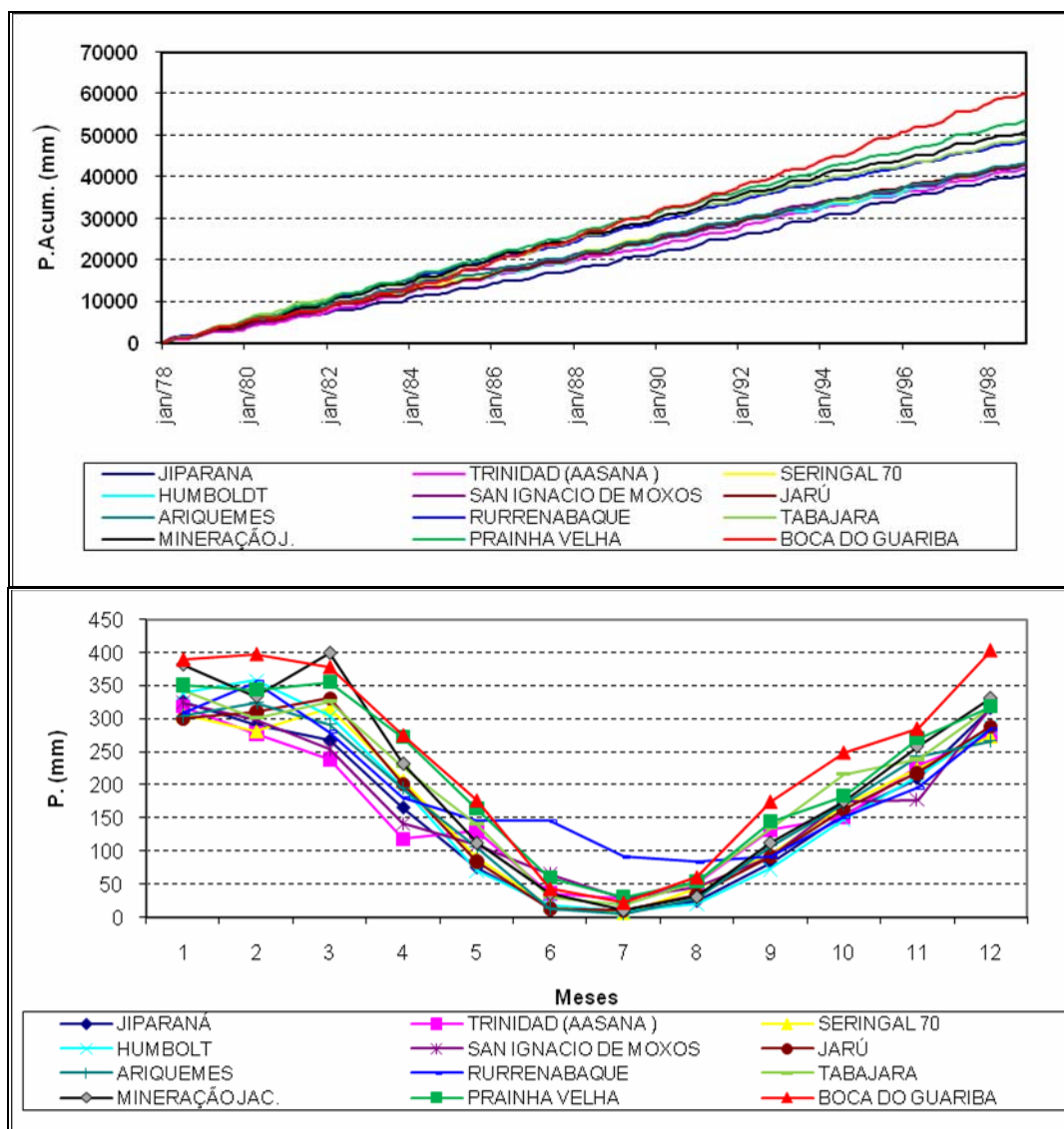


Figura 6.7- Precipitação acumulada / Diagrama de Sazonalidade
(Período 1978-1998) **Grupo 2.**

No Grupo 2, as curvas de precipitação acumulada apresentam certa variação referente à estação Boca do Guariba. Essa estação está localizada no estado de Amazonas, no município de Novo Aripuanã e recebe uma precipitação média anual de 2800 mm. As outras estações do grupo apresentam uma pluviosidade média anual que varia entre

2000 e 2500 mm. Cabe ressaltar que essa variação foi observada no método de agrupamento k-médias, mas não representou uma variação representativa no sentido desta estação ser deslocada do grupo. No entanto, na curva de sazonalidade, a estação Boca de Guariba acompanha as outras estações do grupo.

A estação Rurrenabaque apresenta uma ligeira variação em relação às outras estações na curva de sazonalidade. No período de seca, a estação recebe maior quantidade de precipitação que as outras estações, atingindo em junho 150 mm e em julho 100 mm, aproximadamente. Esse fato, somente é observado em uma outra estação (do total de estações analisadas na bacia do rio Madeira): a estação Borba (Grupo 4).

GRUPO 3:

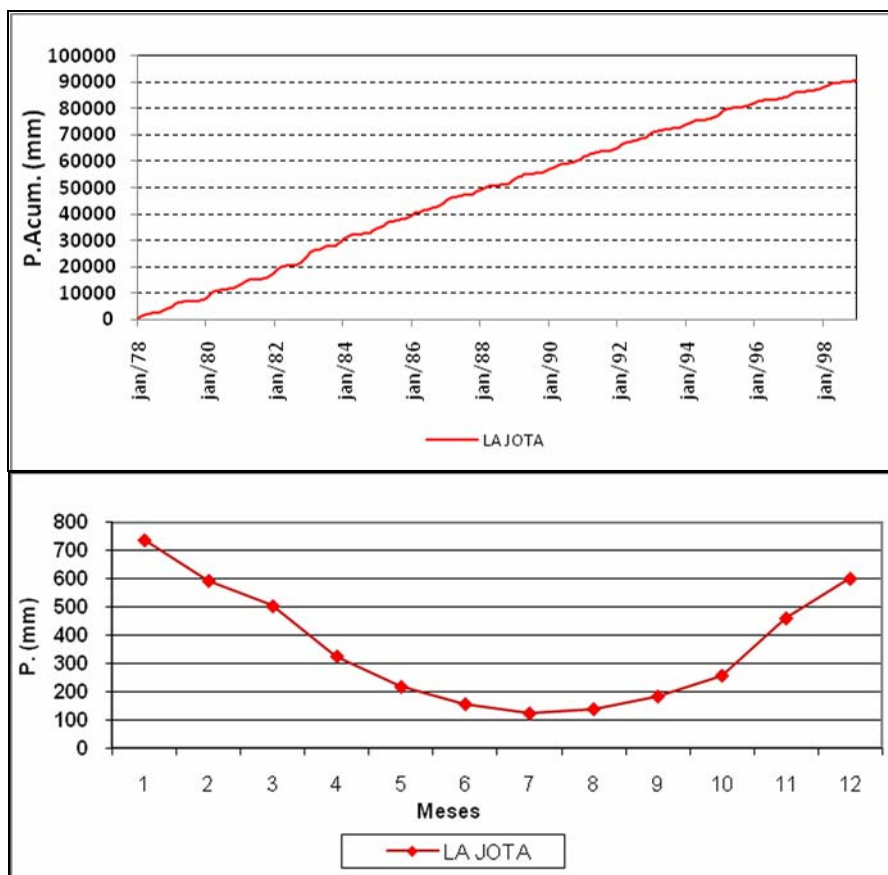


Figura 6.8 - Precipitação acumulada / Diagrama de Sazonalidade (Período 1978-1998) Grupo 3.

A precipitação na estação La Jota é particular, estando localizada na província Carrasco do departamento de Cochabamba (Bolívia) a uma altitude de 264 metros acima do nível do mar. Essa estação recebe a máxima precipitação em janeiro, da ordem de 700 mm, e a mínima no mês de julho, com 125 mm aproximadamente (médias mensais durante o período escolhido). Observa-se que a mínima precipitação que ela recebe no mês de julho (período seco) é maior que a máxima precipitação da estação Luribay do Grupo1a (89,4 mm) e comparável com as máximas das estações Andinas, La Paz Chuquiaguillo e Parotani. A estação La Jota é a de maior pluviosidade em toda a bacia do Madeira, em relação às estações estudadas.

GRUPO 4:

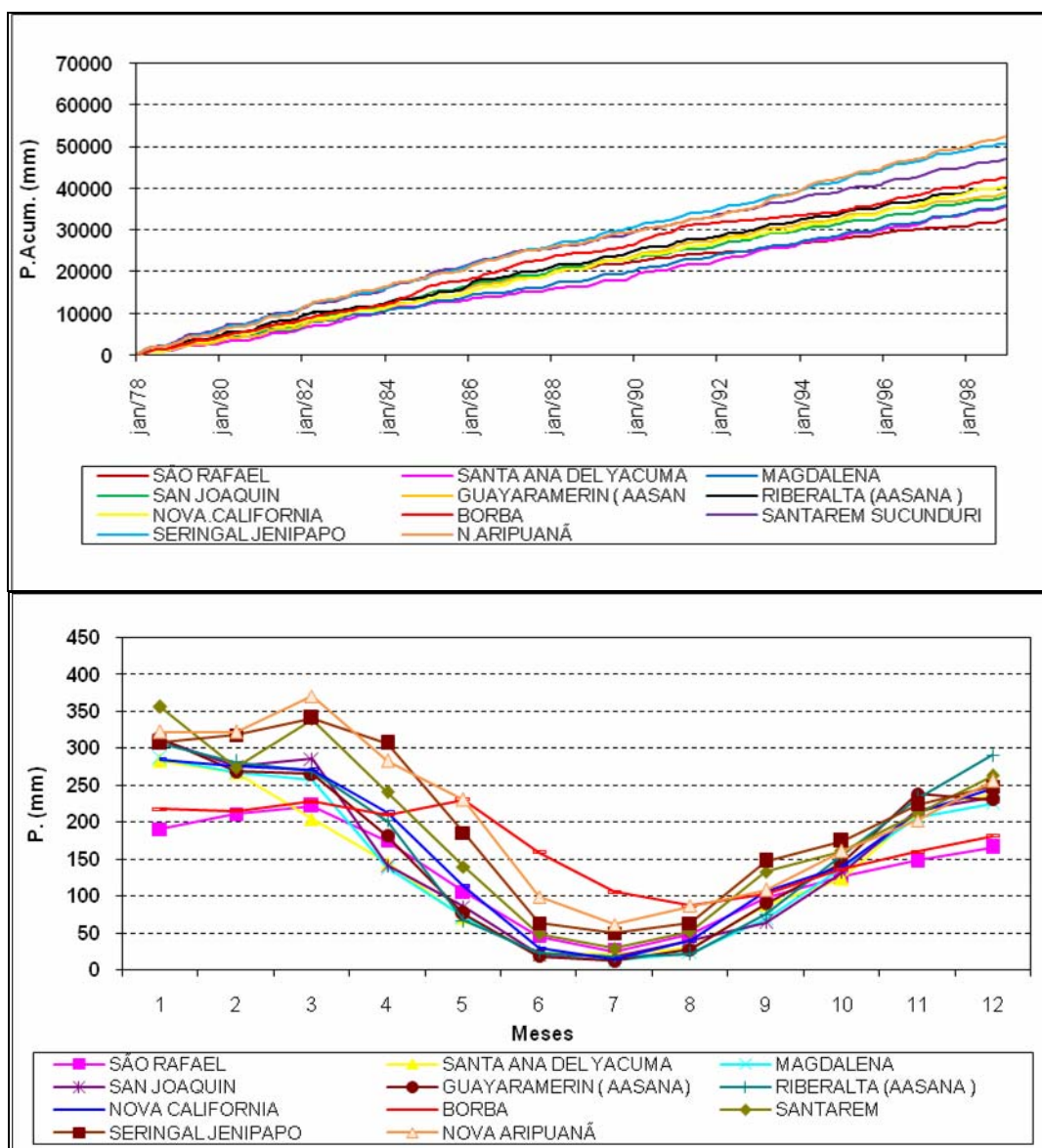


Figura 6.9 - Precipitação acumulada / Diagrama de Sazonalidade (Período 1978-1998) Grupo 4.

No Grupo 4, observa-se uma variação equilibrada das estações, em relação ao gráfico de pluviosidade acumulada, principalmente nas estações de Serignal Genipapo e Nova Aripuanã, que se localizam ao nordeste da bacia. Dessa maneira, neste grupo estudou-se a possibilidade de uma nova divisão, mas, posteriormente, constatou-se que uma nova partição não seria recomendável, já que a variação é gradual e equilibrada. No entanto, decidiu-se manter o Grupo 4 sem deixar de destacar quais as estações que apresentam variações.

Nova Aripuanã e Seringal Genipapo acompanham a sazonalidade do grupo, mas apresentam maior quantidade de precipitações acumuladas. Já a estação Borba apresenta um comportamento diferente em relação à sazonalidade, pois o mês de maior pluviosidade é maio, e o mês de menor pluviosidade é agosto.

Finalmente, observa-se que os agrupamentos mostraram um caráter sazonal bem definido, com período seco compreendido entre os meses de maio a agosto, sendo que, no mês de setembro, geralmente, os totais pluviométricos crescem e com períodos de máxima precipitação nos meses janeiro a fevereiro.

Pode-se observar, de forma geral, que as curvas de precipitações acumuladas mostraram que há similaridade entre as estações pluviométricas de um mesmo grupo, apesar de existir certas variações. É importante destacar que não se espera obter grupos perfeitamente homogêneos, mas que possam representar regiões semelhantes quanto à pluviometria. Além disso, os grupos foram criados levando em conta a limitação que representa a quantidade reduzida de estações (41 em total).

Outro aspecto a considerar é que a precipitação é uma variável hidrológica que possui um comportamento espaço-temporal bastante variado o que influenciará no regime pluviométrico da bacia em diferentes períodos.

6.3 - Análise pluviométrica da bacia do rio Madeira e influência do fenômeno El Niño nas precipitações

O processo de circulação atmosférica condiciona o comportamento temporal das precipitações. Em outras palavras, são muitos os fatores atmosféricos que podem causar as precipitações na bacia do rio Madeira. Dessa maneira, neste item, são abordados aspectos relativos ao regime pluviométrico da bacia do Madeira e a influência do fenômeno El Niño em algumas estações estudadas durante os anos escolhidos para este fim.

Segundo o período de estudo de 21 anos (1978-1998), pode-se dizer, de um modo geral, que ao longo da bacia do rio Madeira o comportamento sazonal das chuvas é homogêneo (Ver Figura 6.10). O período úmido concentra-se nos meses de novembro-dezembro até março, sendo que o mês mais chuvoso é janeiro, seguido de fevereiro. O período seco ocorre durante a estação de inverno, quando há um déficit hídrico médio na bacia, de aproximadamente 50 mm/mês, sendo o mês de julho o mais seco. O período chuvoso (dezembro – março) concentra aproximadamente 60% das precipitações na bacia.

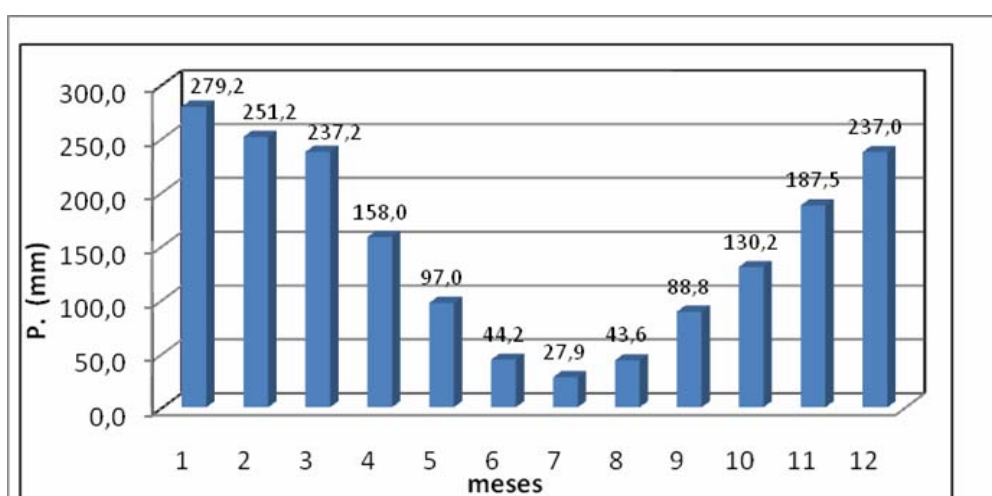


Figura 6.10 – Sazonalidade da bacia do rio Madeira em base às 41 estações escolhidas no período 1978-1998

Se forem observadas as precipitações médias mensais nas 41 estações escolhidas, podemos advertir que 30 delas têm a maior precipitação no mês de janeiro, 9 entre os meses de fevereiro e março e apenas 2 em outros meses (Borba e Boca de Guariba). As estações de menor e maior pluviosidade encontradas na bacia foram Luribay e La Jota, que serão abordadas mais adiante.

Quanto à distribuição espacial, o mapa pluviométrico gerado para o período de estudo apresentado na Figura 6.11-a, mostra a variação espacial das precipitações da bacia. Pode-se observar, também, que as regiões mais secas se encontram no sudoeste da bacia, com valores inferiores a 300 mm por ano. Observa-se também, um aumento da precipitação na direção sul – norte (em direção ao escudo brasileiro e aos Andes).

As concentrações de precipitações fortes encontram-se, principalmente, nos primeiros relevos da Cordilheira Oriental, com precipitações da ordem de 4000 mm/ano (regiões isoladas), sendo que este fato deve-se principalmente ao efeito da orografia dos Andes.

Comparando ambos mapas na Figura 6.11(a e b) (isto é, o mapa gerado a partir das estações estudadas no período 1978 – 1998 com o mapa gerado a partir dos dados do Worldclim), nota-se que existem similaridades, Isto significa que as estações utilizadas para este trabalho, apesar de aparentemente serem poucas para uma boa representatividade, constituíram-se em uma boa representação geral das chuvas na bacia.

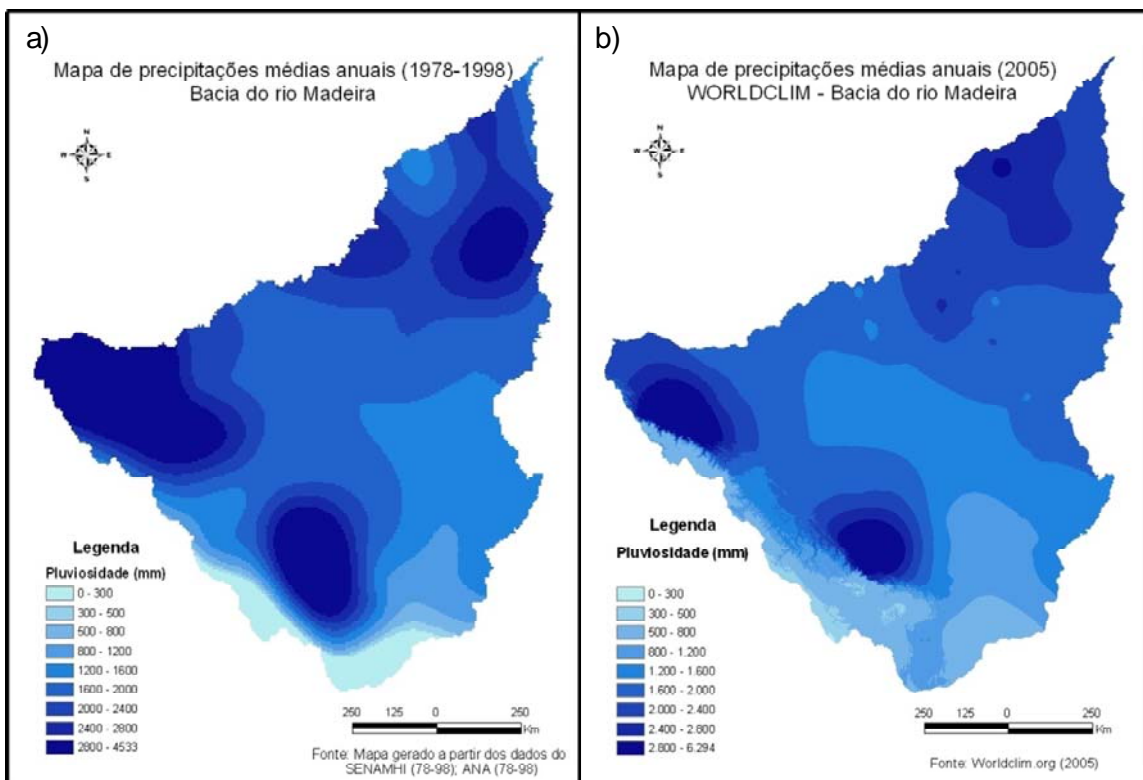


Figura 6.11 – Mapa de precipitações médias anuais

Uma outra questão abordada foi a observação da relação entre a altitude e a precipitação. Para tanto foram elaboradas curvas de precipitação nos quatro grupos homogêneos gerados. Foi escolhido o Grupo 1 para a representação de estações com

altitudes elevadas, uma vez que os outros grupos apresentam estações com altitudes menores do que 250 metros. Na Tabela 6.5 e na Figura 6.12 é apresentada essa relação.

Pode-se observar que as estações com altitudes maiores do que 1500 metros são apenas cinco, das quais: as três primeiras (Luribay, Parotani e La Paz – Chuquiaguillo) apresentam precipitações inferiores aos 1000 mm (média anual), Quiabaya apresenta uma precipitação média anual de 1026 mm e Chulumani, de quase 1400 mm.

Tabela 6.5 – Relação Pluviosidade – Altitude (período 1978 - 1998)

MED.ANUAIS (1978-1998)	ALT.	GRUPO 1a - 1b
360,6	2644	LURIBAY
573,3	2500	PAROTANI
732,6	4084	LA PAZ - CHUQUIAGUILLO
932,9	450	ABAPO
1026,9	3161	QUIABAYA
1151,6	297	SAN JOSE DE CHIQUITO
1209,0	412	SAN IGNACIO DE VELASCO
1259,2	280	OKINAWA I
1299,0	496	CONCEPCION (AASANA)
1372,9	1752	CHULUMANI
1402,4	395	SAPECHO
1445,8	200	V.BELA MG
1491,4	437	EL TROMPILLO (AASANA)
1516,4	674	SAN JAVIER (AASANA)
1518,0	240	P.LACERDA
1530,8	443	SANTA CRUZ (AASANA)
1577,7	198	ASCENCION DE GUARAYO

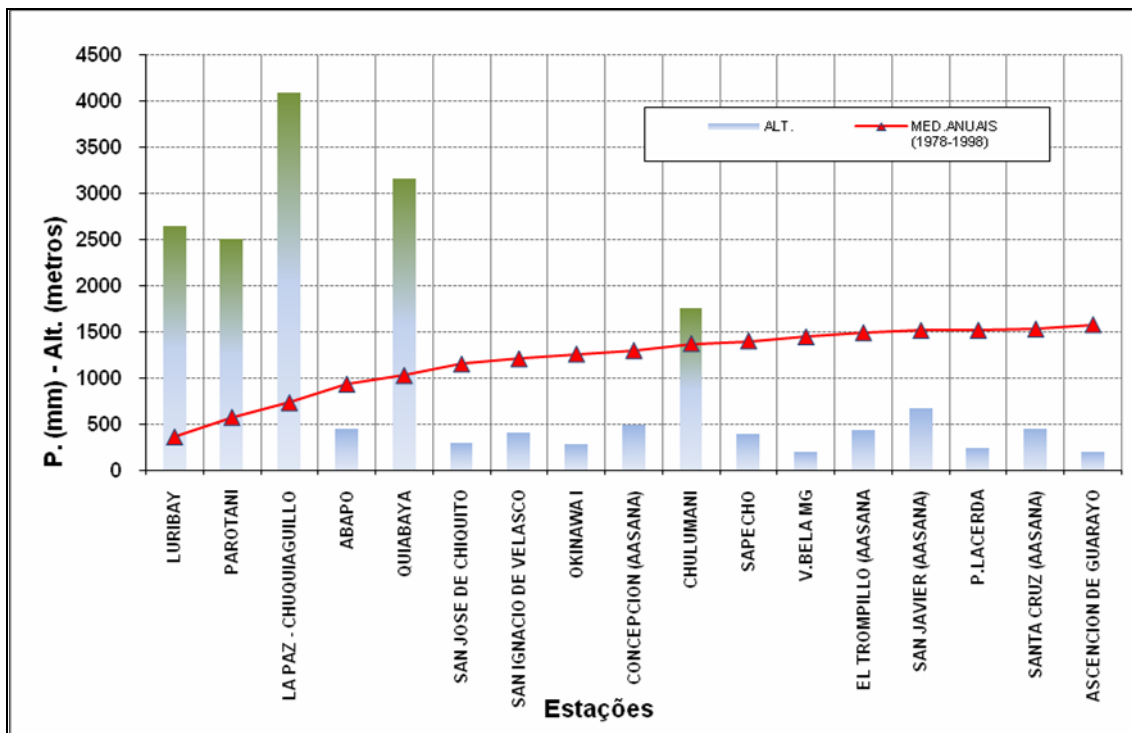


Figura 6.12 – Relação Pluviosidade – Altitude (período 1978 - 1998)

É possível que a influência da altitude, em certos lugares, leve a um deficit pluviométrico, como é o caso das estações acima mostradas. No entanto, não pode-se afirmar que existe uma relação geral entre a pluviosidade e altitude. Isto pode ser observado nas estações Quiabaya e Chulumani, que mostraram uma diferença, apesar de se encontrarem numa altitude considerável. As precipitações médias anuais correspondentes a essas estações são; Quiabaya 1026 mm e Chulumani 1373 mm. Assim como essas estações, podem existir outras que não foram abordadas neste trabalho.

Certamente, observa-se que há maior altitude existe uma tendência da diminuição da precipitação, mas, deve-se lembrar que a cadeia montanhosa dos Andes apresenta cumes de grande altitude, vales e depressões que, combinados com a dinâmica atmosférica em diferentes épocas do ano, oferece variações significativas da precipitação.

Estações que apresentaram variações de chuvas nos anos 1982-1983 e 1997-1998.-

Cada evento do El Niño apresenta características diferenciadas, sendo que o fenômeno é de irregular recorrência no tempo, irregular intensidade e área de impacto, além das alterações da data de início e fim.

Variações quanto a precipitações e secas podem atingir diferentes lugares do mundo, dependendo da intensidade do fenômeno. Os eventos dos anos 1982-1983 e 1997-1998 foram registrados como os mais fortes, causando muitos desastres em diferentes regiões de América do Sul. Neste estudo, verifica-se a influência que tiveram esses episódios nas precipitações em algumas regiões da bacia do rio Madeira.

Para um melhor entendimento e com base em eventos passados, descreve-se o comportamento do fenômeno, de maneira geral nas macroregiões da bacia do rio Madeira (Andes, Planície Amazônica, escudo brasileiro).

A zona Andina da Bolívia (correspondente ao sudoeste da bacia), durante a presença do fenômeno do El Niño, é geralmente influenciada por secas. No entanto, já foi observado que o altiplano apresenta variações em relação ao fenômeno El Niño. Em algumas regiões o El Niño pode significar chuvas abundantes. Com a presença do El Niño, os ventos úmidos e quentes, que se acumulam na costa do Peru, provocam chuvas e tormentas nos Andes (no Pacífico), já livres de umidade, atravessando a cordilheira até chegar ao Altiplano e aos vales bolivianos. Esses ventos quentes impedem o normal deslocamento dos ventos úmidos vindos do Brasil. Isso acarreta secas no Altiplano e chuvas intensas na planície Amazônica boliviana (zonal central da bacia).

As inundações na planície Amazônica boliviana, que corresponde a parte central da bacia do rio Madeira, ocorrem praticamente todos os anos durante o período de

chuvas (novembro-março). Essas constituem uma ameaça presente, que se intensifica de maneira marcante durante os anos em que o fenômeno El Niño se manifesta.

Quanto ao escudo brasileiro, em algumas regiões da zona sudoeste da bacia, acontecem secas (sudoeste de Santa Cruz de la Sierra), sendo que a maior parte dentro dessa macroregião corresponde ao estado de Rondônia. Cabe destacar que não foram encontradas, na literatura, muitas relações com os eventos de El Niño no estado de Rondônia, porém apenas algumas fontes que indicam seca em algumas regiões.

Depois de observar as chuvas de cada estação no período escolhido, foram identificadas as estações mais representativas de cada grupo homogêneo, isto é, aquelas que apresentavam variações consideráveis nos anos do El Niño.

Grupo 1a – Em geral neste grupo com exceção da estação Abapó, a tendência nos períodos 82-83 e 97-98 foi o déficit de precipitação. As estações de Parotani, La Paz Chuquiaguillo e Luribay apresentaram precipitações menores do que a média mensal no período de chuvas de novembro a março. Neste grupo, destacam-se duas estações com maior variação. Luribay e Abapó. Os gráficos 6.13, 6.14 apresentam as variações destas estações com relação a sua média mensal (1978-1998).

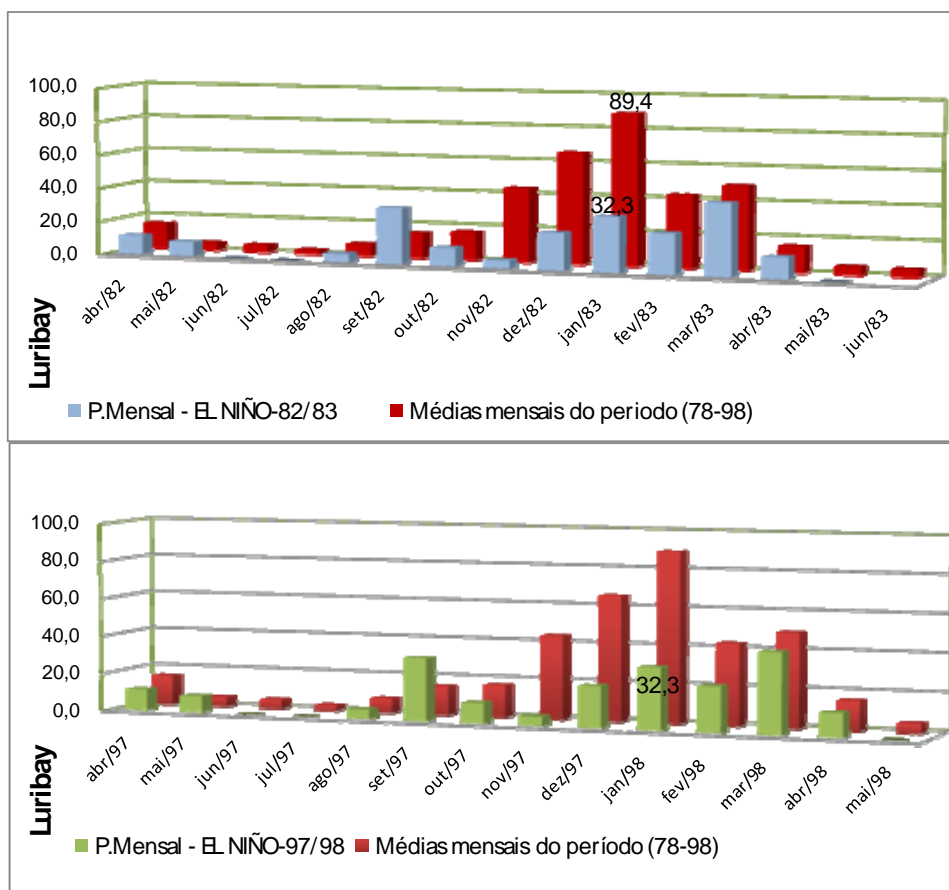


Figura 6.13 – Variação de precipitação de Luribay nos anos 1982-1983 e 1997-1998

Luribay: É uma estação que está localizada na província Loayza, a sudeste do Departamento de La Paz, a uma altitude de 2644 metros acima do nível do mar. A estação, em geral, apresenta maior precipitação no mês de janeiro (89,4 mm) e menor no mês de julho (3,1mm). Estes números representam as médias mensais no período de estudo (Anexo II) sendo que a média anual desta estação é de 360 mm.

Em ambos os episódios do El Niño, Luribay apresenta déficit de precipitação principalmente entre os meses de novembro e março (época de chuvas). Isso confirma o que foi sinalado anteriormente. Parte do Altiplano (principalmente ao sul da cidade de La Paz), geralmente nos anos do El Niño sofre uma diminuição na precipitação em relação ao valor esperado no período analisado.

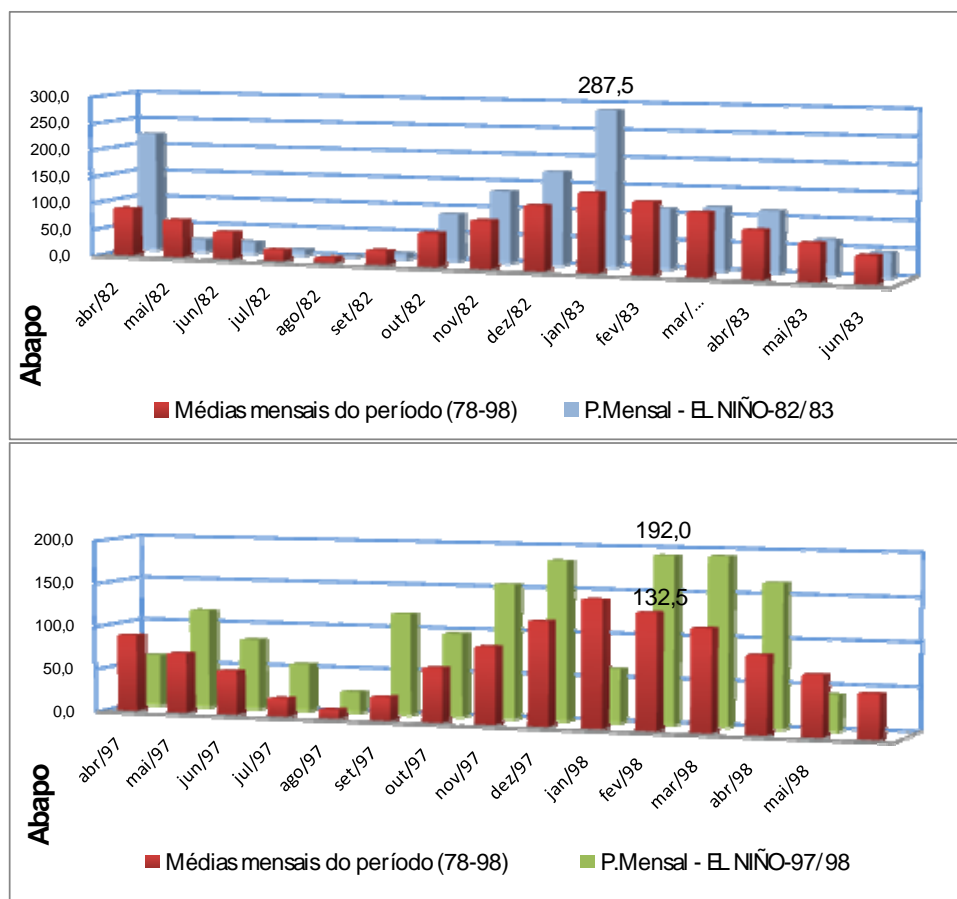


Figura 6.14 – Variação de precipitação de Abapó nos anos 1982-1983 e 1997-1998

Abapó: Essa estação está localizada ao sul da bacia rio Madeira, na província Cordillera do departamento de Santa Cruz, a 450 metros de altitude. Contrariamente às outras estações desse grupo, no período do El Niño 82/83, a estação apresentou precipitações maiores que a média, principalmente desde novembro até março (período chuvoso) e apresentou déficit durante todo o evento dos anos 97/98, como se observa na Figura 6.14.

Grupo 1b: O grupo 1b apresenta estações no sul e sudoeste da bacia do Madeira. Em relação às estações localizadas no sudoeste (Quiabaya, Sapecho e Chulumani), apresentaram um comportamento que está descrito a seguir.

Chulumani e Sapecho apresentaram, no período 82/83, precipitações menores que a média em quase todo o período, com exceções nos meses de nov/82 (Chulumani) e

fev/83 (Sapecho), que foram meses bastante chuvosos. No período 97/98, Chulumani apresentou meses com chuvas maiores que a média (set-out/97; fev-abr/98) e meses com déficit (nov-jan/98). Sapecho teve tendência à seca no início do fenômeno, sendo que os meses mais representativos foram abr/97 e nov/97, com 14,3mm (em relação a uma média de 135 mm) e 24 mm (em relação a uma média de 130 mm), respectivamente.

Quiabaya: Foi a estação com maior variação de chuvas entre estas três, pois apresentou maior déficit de precipitação em ambos episódios do fenômeno. Observe-se, no gráfico da parte de cima da Figura 6.15, que, em nov/82, houve uma precipitação de 196,7 mm, comparada a uma média de 98,1 mm. Logo depois, ocorreu um déficit marcado pelos seguintes cinco meses. Já no período de 97/98 (gráfico da parte de baixo da figura 6.15) a estação apresentou déficit desde nov/97 até mar/98.

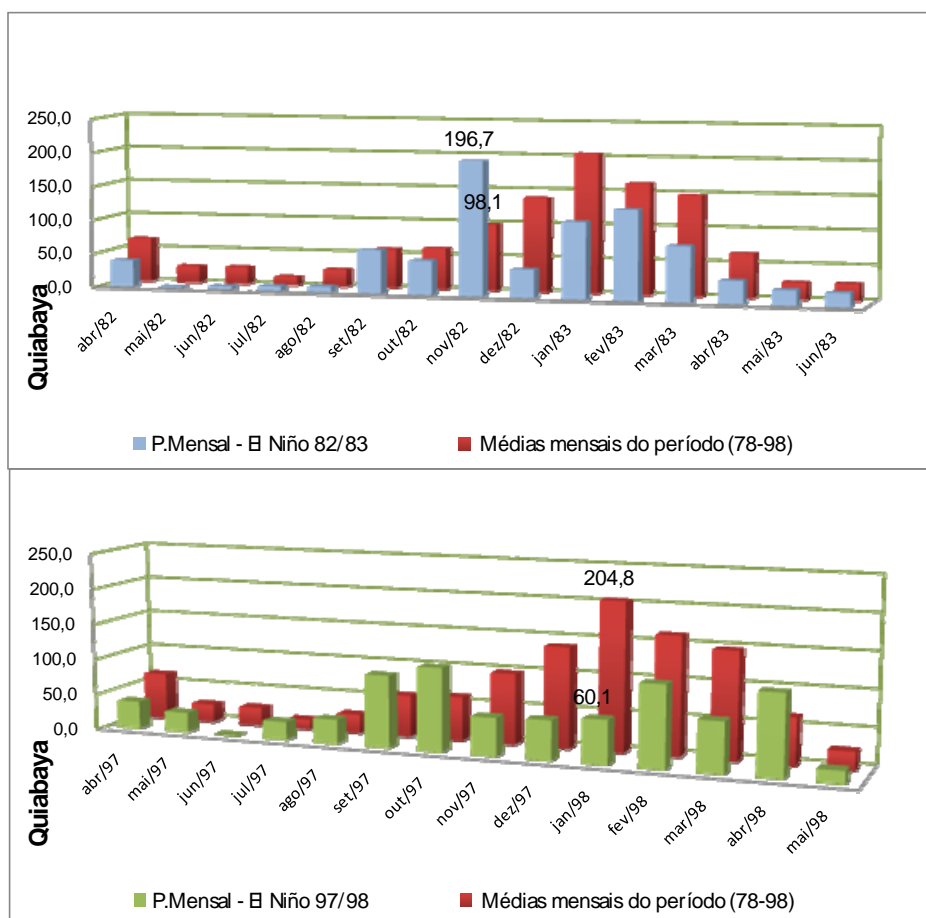


Figura 6.15 – Variação de precipitação de Quiabaya nos anos 1982-1983 e 1997-1998

Quanto ao comportamento da chuva observado nas estações localizadas ao sul, apresenta-se uma descrição em seguida.

No período 82/83, as estações de El Trompillo, Santa Cruz, São Jose de Chiquitos, Okinawa I e San Javier, apresentaram, no geral, maiores precipitações em relação à média, principalmente nos meses de maio, junho, outubro e novembro. Em alguns casos, isto ocorreu em dezembro de 1982 e em janeiro de 1983, bem como março e maio de 1983. Destaca-se que em maio de 1983, com exceção da estação de Quiabaya, houve uma precipitação significativa para todas as estações deste grupo. Na figura 6.16, se observa as chuvas da estação Okinawa I, que exemplifica o comportamento aproximado das estações acima mencionadas.

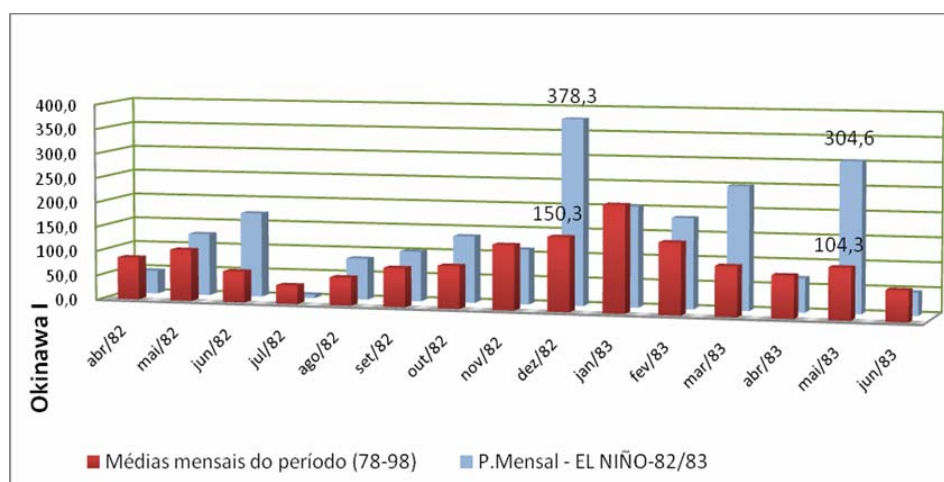


Figura 6.16– Variação de precipitação de Okinawa nos anos 1982-1983.

As estações de Concepción e San Ignacio apresentaram, em geral, precipitações maiores em relação às suas médias, mas não com diferenças expressivas. Observou-se que, em alguns meses, houve déficit de precipitação, como em fevereiro e abril de 1983, havendo uma diferença expressiva em relação à média, como se observa na Figura 6.17 (dados da estação de San Ignacio de Velasco).

Ascención de Guarayo, Mato Grosso e Pontes e Lacerda, também mostraram maior precipitação em relação às suas médias, cuja diferença é pouco expressiva.

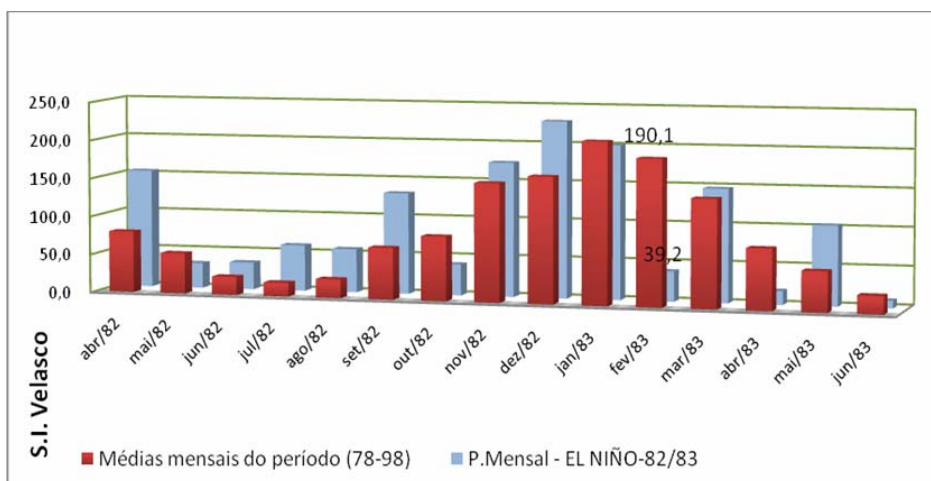


Figura 6.17– Variação de precipitação de S.I.de Velasco nos anos 1982-1983.

As precipitações do período 97/98 apresentaram um comportamento muito variado entre as estações, pois ora o excesso estava presente e ora o déficit. As precipitações das estações El trompillo e Santa Cruz apresentaram, nos primeiros meses, um déficit de precipitação. Já Okinawa, San Javier e Ascención de Guarayo apresentaram comportamento similar entre elas, com maior déficit de precipitação, sendo que os meses de dez/97 e jan/98 foram os de menor precipitação em relação à média. Quanto à San Jose de Chiquitos, jan/98 foi um mês com chuvas acima da média.

A Figura 6.18 apresenta a variação de precipitação para a estação de Okinawa I no período 1997-1998.

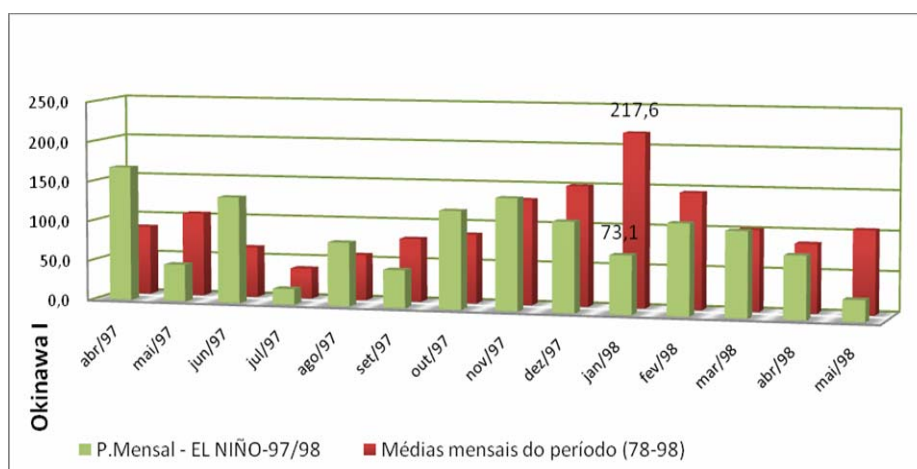


Figura 6.18 – Variação de precipitação de Okinawa I nos anos 1997-1998.

As estações Concepción e San Ignacio de Velasco apresentaram déficit na maior parte do período, com alguns meses de chuvas maiores que as médias, como é o caso de fevereiro de 1998 na estação de San Ignacio de Velasco (Figura 6.19).

As precipitações das estações de Mato Grosso e Pontes e Lacerda apresentaram um comportamento não representativo em relação as suas médias, ou seja, sem diferenças consideráveis.

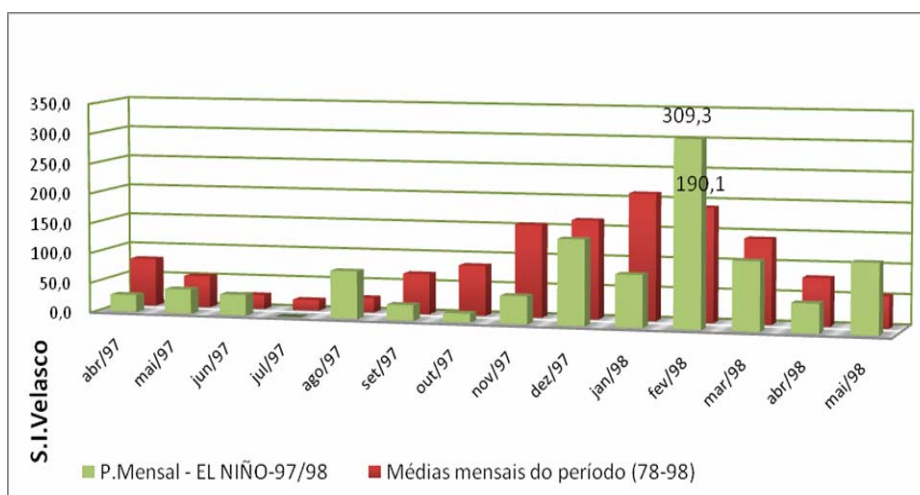


Figura 6.19 – Variação de precipitação de S.I. de Velasco nos anos 1997-1998.

Grupo 2: Este grupo se constitui de estações tanto do lado da Bolívia quanto do Brasil. Do lado boliviano, as estações localizadas na parte central da bacia do rio Madeira são: Rurrenabaque, Trinidad e San Ignacio de Moxos.

Estas três estações apresentaram um comportamento similar no período do El Niño 82/83, com precipitações maiores que a média e alguns meses mais intensos do que os outros. Trinidad, por exemplo, apresentou máximas nos meses de jan/83 e mar/83; em San Ignacio de Moxos, observam-se máximas em fev/83 e mar/83; e em Rurrenabaque, localizada no centro-oeste, os meses de nov/82 e mai/83 foram os mais chuvosos.

No período 97/98, houve comportamento diferente na estação de Rurrenabaque (Figura 6.20), onde se observa déficit de precipitação, sendo o único mês maior que a

média o mês de jun/97. As precipitações de San Ignacio de Moxos, por sua vez, apresentam uma diferença significativa de déficit (em relação á média) no mês de mar/98, ao contrário de Trinidad, onde em alguns meses a precipitação é maior que a média (out-nov-dez/97 e mar/98).

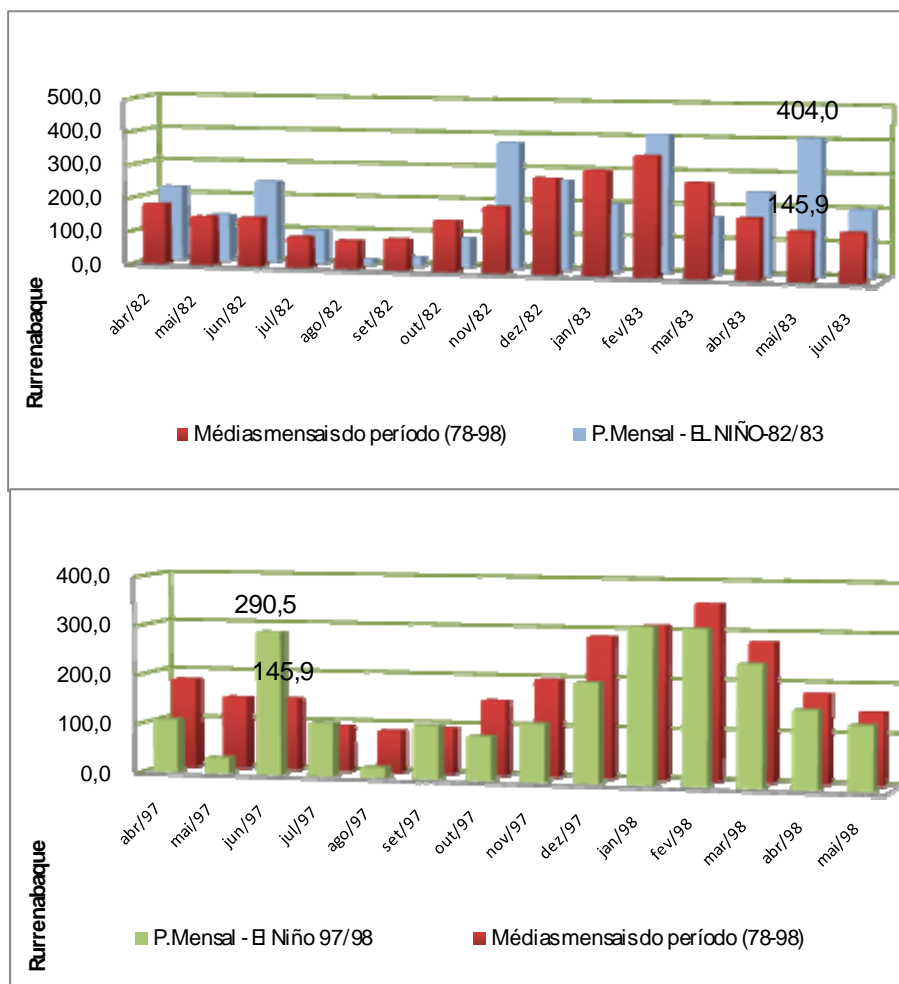


Figura 6.20 – Variação de precipitação da estação de Rurrenabaque nos anos 1982-1983 e 1997-1998.

Do lado brasileiro, no período 82/83, as precipitações das estações Jarú, Seringal 70, Ariquimes e Mineração Jacunda, apresentam um comportamento similar. Meses com maior e menor precipitação em relação à média foram identificados nestas estações. No mês de mar/83, houve uma precipitação consideravelmente maior que a média na maioria de estas estações, assim como no mês de set/82. Estas estações apresentaram muita variação entre os meses em que o fenômeno esteve presente. A

Figura 6.21 mostra a variação de precipitação da estação Ariquimes, destacando o mês mar/83.

A estação Jiparaná apresentou um comportamento moderado sem variações consideráveis em relação às médias mensais, mas a tendência foi a déficit. A estação Humbolt, por sua vez, apresentou precipitações acima da média nos meses dez/82, jan-fev/83. Em Tabajara houve déficit em quase todo o período, com destaque nos meses fevereiro e março de 1983.

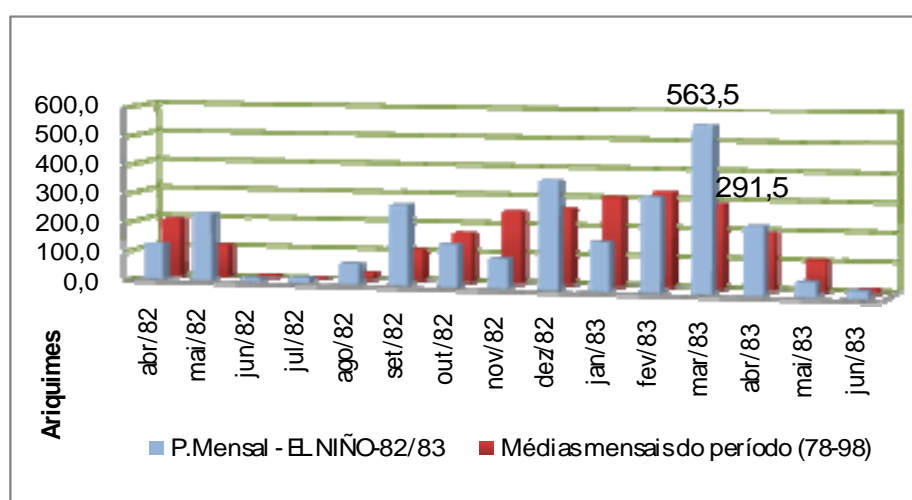


Figura 6.21 – Variação de precipitação de Ariquimes nos anos 1982-1983.

No período 97/98, a maioria das estações não apresentou variações significativas em relação à média. Houve alguns meses de maior e outros de menor precipitação, cujas diferenças não são muito significativas.

Duas estações apresentaram variações a destacar: Prainha Velha, que mostrou déficit na maioria dos meses, se comparado às médias mensais, e; Boca de Guariba que, ao contrário da anterior, apresentou meses com maior precipitação que suas médias. Na Figura a 6.22 se observam a variação das chuvas nestas duas estações.

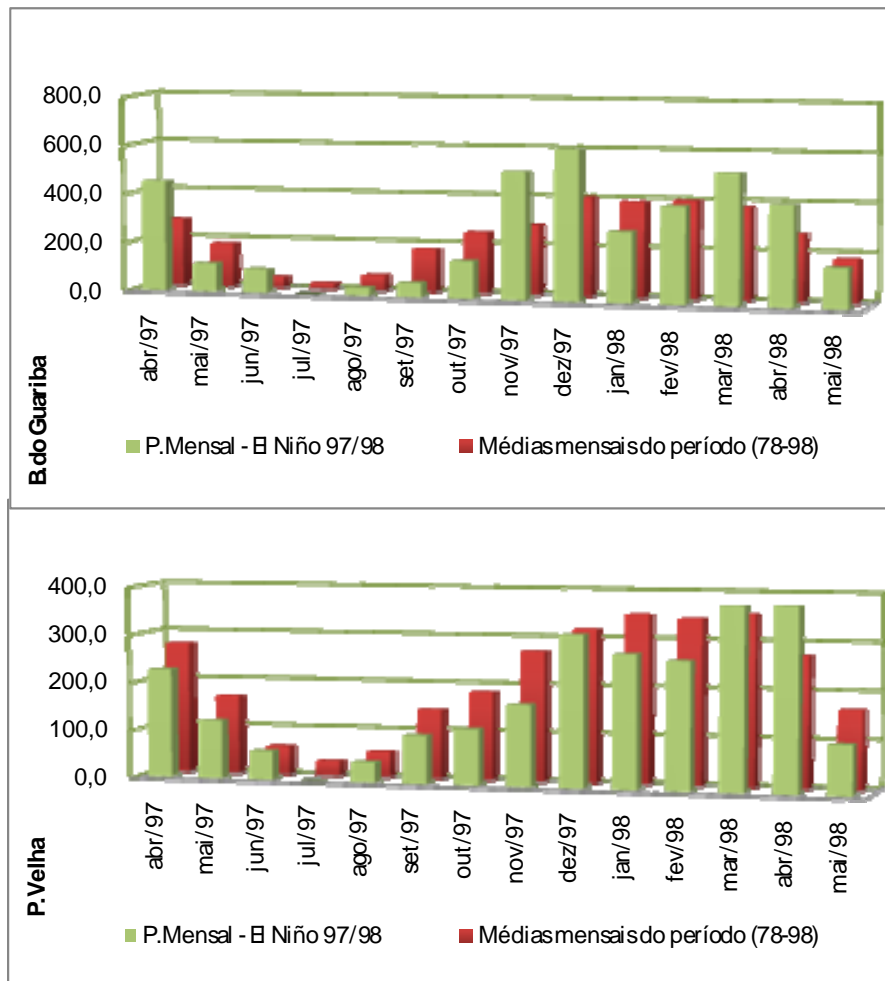


Figura 6.22 – Variação de precipitação de Boca do Guariba (acima) e Prainha Velha (embaixo) nos anos 1997-1998.

Grupo 3: Estação La Jota:

A estação La Jota está localizada no centro-oeste da bacia do rio Madeira, na região do Chapare, onde as chuvas são da ordem de 4000 mm e, excepcionalmente, pode atingir até 8000 mm, chegando a chover até 200 dias ao ano (CAF, 2007). Assim, esta estação com 264 metros de altitude, é representativa da localidade do Chapare, com uma média anual de 4300 mm/ano. Quase todos os anos se registram precipitações superiores a 100 mm/dia. A máxima histórica na região atingiu 390 mm/dia (MOLINA, 2005).

A precipitação nesta região é influenciada pela orografia, já que encontra-se no pé da cordilheira Mesotenes. Isto faz com que os ventos úmidos, vindos da região Amazônica, sejam impulsionados para acima pela cordilheira, provocando grandes precipitações na região. A Figura 6.23 mostra a variação de precipitação nesta estação durante os episódios do El Niño. Se observa que o período 82/83 foi mais chuvoso enquanto que o período 97/98, apresentou déficit.

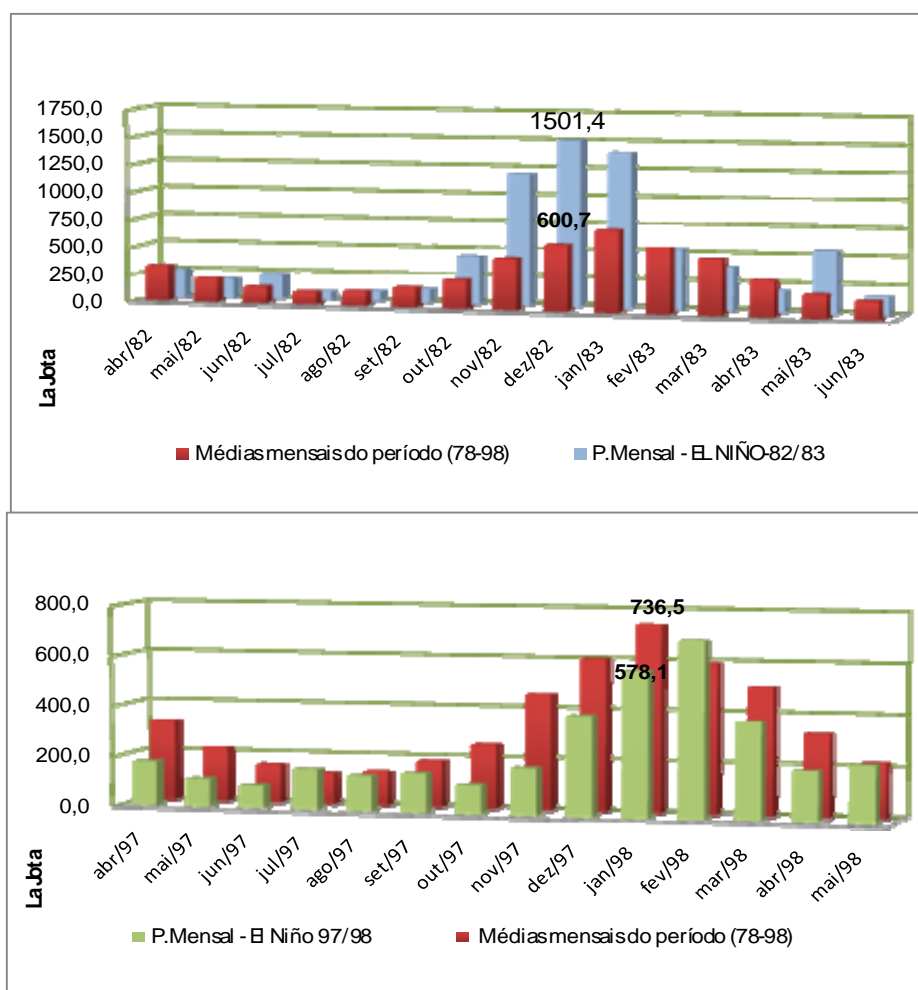


Figura 6.23 – Variação de precipitação de La Jota nos anos 1982-1983 e 1997-1998.

Grupo 4:

Este grupo apresenta estações tanto na Bolívia quanto no Brasil. No período 82/83 as estações de Santa Ana de Yacuma, San Joaquin e Guayaramerín, localizadas no centro da bacia (lado boliviano), apresentaram, em geral, maiores precipitações que as

médias mensais. A estação Magdalena, por sua vez, não apresentou muitas variações, em relação às suas médias.

Na estação de Riberalta houve déficit de precipitação neste período como se observa na Figura 6.24, assim como na estação de Nova Califórnia, que também apresentou uma tendência ao déficit.

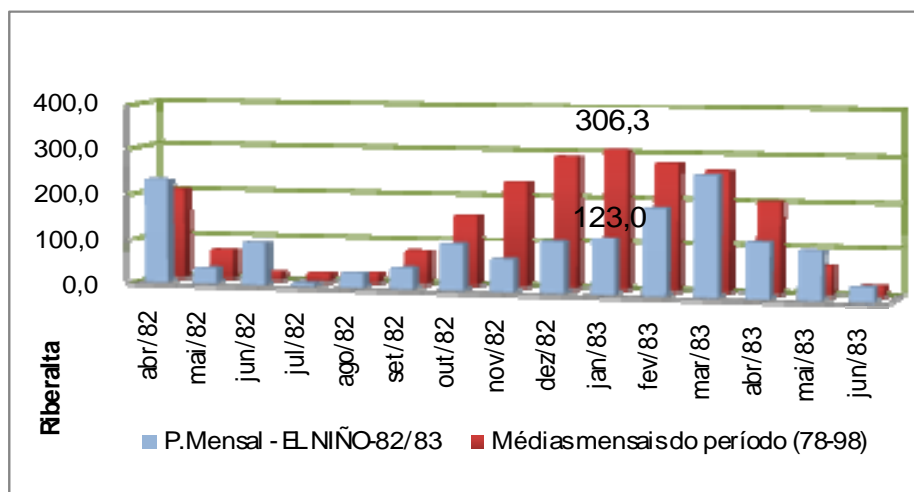


Figura 6.24 – Variação de precipitação da estação de Riberalta nos anos 82/83

As estações localizadas no nordeste da bacia (lado brasileiro) apresentaram variabilidade neste período, sendo que em determinados meses há quantidade maiores de precipitações em relação à média e outros meses, menor. As estações de São Rafael e Nova Aripuanã apresentaram, em geral, precipitações maiores as médias mensais e as estações Santarem, Seringal e Borba, tiveram somente alguns meses com precipitação maior que as suas médias mensais, a tendência geral foi o déficit. Desta maneira, nas Figura 6.25 e 6.26 são apresentadas as variações das estações de São Rafael e Borba para este período (1982-1983).

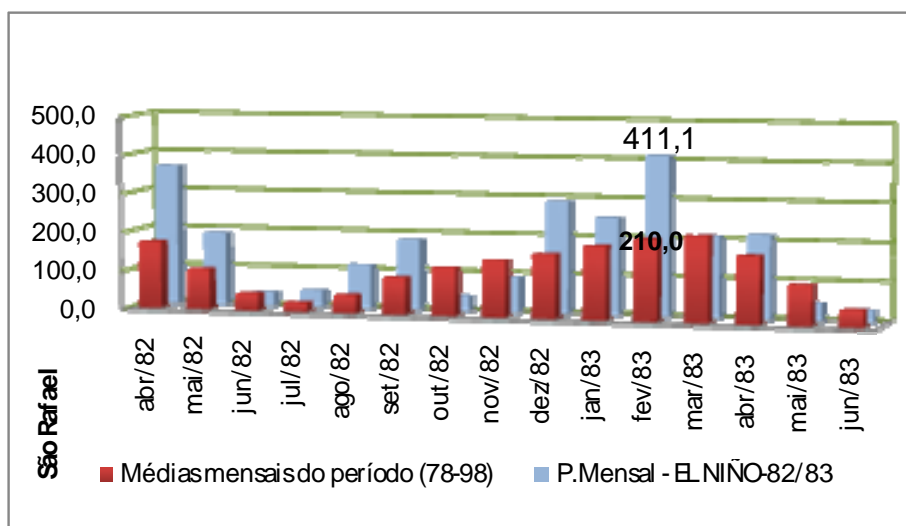


Figura 6.25 – Variação de precipitação da estação de São Rafael nos anos 82/83

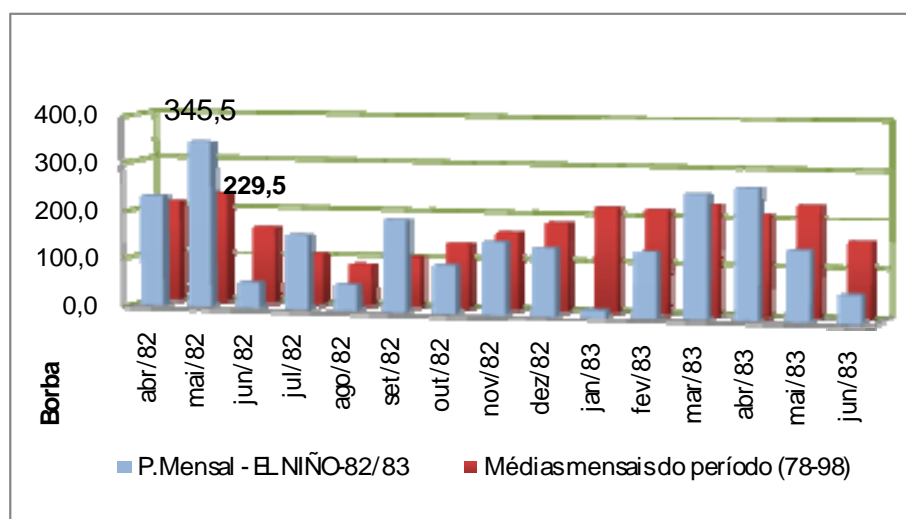


Figura 6.26 – Variação de precipitação da estação de Borba nos anos 82/83

No período 97/98, Santarem, Seringal e São Rafael apresentam tendência a meses mais secos que as médias mensais. As estações Nova Aripuanã e Borba, apresentam um comportamento tanto de chuva, em alguns meses, quanto de seca. Assim, se destaca neste período que a estação de Borba teve um mês de maio bastante seco, seguido de um mês de junho bastante chuvoso (Figura 6.27).

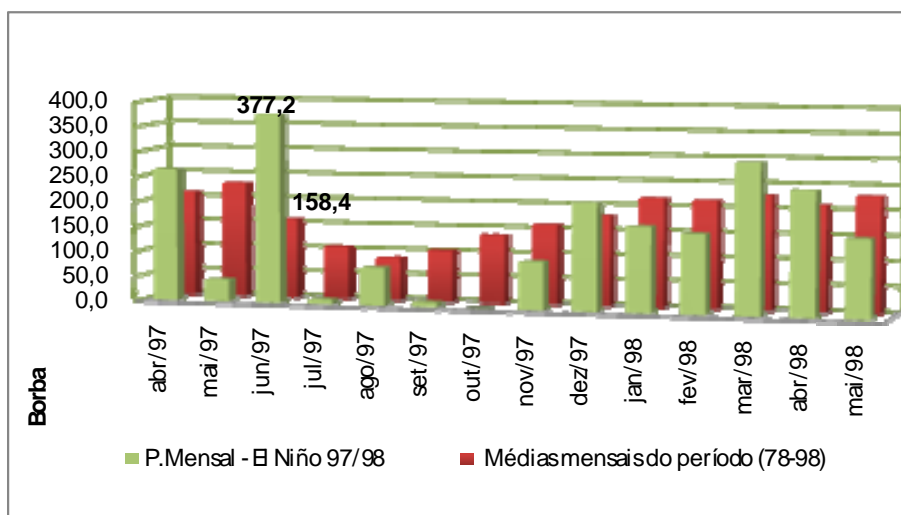


Figura 6.27 – Variação de precipitação da estação de Borba nos anos 97/98

Finalmente, pode-se concluir que, em toda a bacia do rio Madeira, o comportamento das chuvas é bastante variado. O fenômeno El Niño associado a outros sistemas atmosféricos que agem na região, faz com que o comportamento das precipitações seja bastante variado. Os ietogramas de precipitações apresentados neste item, mostram, a variação de precipitação em relação às médias mensais do período 78-98 de algumas das estações estudadas. Observa-se segundo estes quadros que em geral houve maior quantidade de precipitação no evento de El Niño 82-83 e maior déficit na região no evento de El Niño 97-98 para a bacia do Rio Madeira.

É importante ressaltar que o estudo de outros anos do fenômeno é importante, para ter maiores conhecimentos do seu comportamento. Além disso, é importante também conhecer que outros sistemas atmosféricos encontram-se agindo nesses períodos, para dessa maneira avaliar com maior precisão o que acontece nesse período.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho objetivou analisar o comportamento pluviométrico da bacia do rio Madeira considerando dados de estações pluviométricas localizadas no Brasil e na Bolívia. Para tanto foram unificadas as bases de dados de ambos os países e analisada a pluviometria na série temporal. Dessa maneira as considerações finais e recomendações são apresentadas neste capítulo.

Quanto às bases de dados;

É de conhecimento que uma gestão sustentável de recursos hídricos numa bacia transfronteiriça é muito importante, pois gera um desenvolvimento equilibrado da região organizando os usos dos rios e aquíferos a montante e a jusante. Bolívia e Brasil são os países que abrangem a maior porção da bacia do rio Madeira. O fato de não possuírem qualquer acordo ou tratado binacional relativo à bacia hidrográfica, faz com que conflitos sobre os diferentes usos da água como geração de energia, irrigação, navegação, entre outros, possam impedir o desenvolvimento sustentável da região. Desta forma se considera importante a implementação de um acordo binacional entre o Brasil e a Bolívia em relação às águas transfronteiriças do rio Madeira, para tornar viável a gestão conjunta dos recursos hídricos e evitar possíveis conflitos pela falta de leis ou políticas entre os países participantes.

Outra preocupação é a carência de intercâmbios e homogeneização de informações técnicas entre as instituições de países fronteiriços, que compartilham diferentes recursos naturais. Este fato leva sem dúvidas à limitação de dados para estudos e projetos de pesquisa realizados em bacias fronteiriças e transfronteiriças. Este é o caso deste estudo que, devido à dificuldade de acesso de dados, muitas vezes viu-se limitado no seu desenvolvimento. Mais uma vez, faz-se presente a necessidade imperiosa de estabelecer acordos binacionais ou multilaterais, intercâmbios de informação técnica, seminários internacionais entre outros.

Com a finalidade de conhecer um pouco mais sobre as redes hidrometeorológicas de cada país, e cientes de que a coleta de dados foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, neste estudo foram descritas algumas características das Instituições fornecedoras dos dados e se observaram algumas peculiaridades.

- A ANA é uma instituição com muitos projetos em desenvolvimento. A maior parte da rede pluviométrica na bacia do rio Madeira data dos anos 80 o que, muitas vezes, limita a realização de estudos baseados em séries históricas maiores ou séries mais antigas. A disponibilidade dos dados da ANA é acessível ao público através do sistema Hidroweb. Foi observado em muitos casos, que no ano 1997 muitas estações não apresentavam dados em alguns meses, podendo se estender esta ausência por um ano ou mais. Ressalta-se que isto foi importante na escolha das estações já que o ano 1997 foi um ano de estudo para o fenômeno El Niño.

- O SENAMHI é uma instituição que atravessa uma fase difícil, por ser uma organização que recebe um orçamento reduzido o monitoramento das redes se vê afetado. Muitas estações que forneciam dados com séries históricas longas ficaram deficientes ou simplesmente não estão mais funcionando. Outra característica que se deve destacar é a necessidade de maior número de funcionários para reforçar as diferentes áreas do SENAMHI, já que, o pessoal especializado é reduzido. Isto se deve principalmente à crise do País desencadeando em baixos salários para os trabalhadores. Quanto a informação se refere, o SENAMHI apresenta uma base de dados histórica extensa. No caso da rede pluviométrica da bacia do Madeira, existem estações com séries históricas maiores de que 50 anos, mas, são observadas muitas lacunas em algumas estações. Além disso, muitas estações já não se encontram em operação o que gera uma perda importante de informações com séries históricas representativas para projetos futuros.

Como mencionado anteriormente, e com relação a este estudo, poder-se-ia dizer que a ANA apresenta maior quantidade de dados de fácil acesso para os usuários, ainda que, a escolha de estações com períodos extensos seja restrita, enquanto que, o SENAMHI apresenta séries de dados mais extensas, mas que não se encontram disponíveis em endereços eletrônicos, com quantidade de estações cada vez mais reduzida.

Contudo, para o desenvolvimento do trabalho, coletaram-se dados de precipitações mensais dos dois países envolvidos. O fato das bases de dados serem diferentes tanto em formato quanto em informação constitui uma limitante tanto na etapa do tratamento de dados quanto na escolha de estações disponíveis. A realização de estudos de consistência nas bases de dados dos países envolvidos na bacia do rio Madeira é recomendável e de muita importância, pois, constituiria uma base para muitos outros estudos relacionados aos recursos hídricos na região.

Quanto à regionalização pluviométrica e as técnicas de agrupamento de dados;

A regionalização pluviométrica foi uma ferramenta de utilidade para observar quais regiões apresentavam um comportamento pluviométrico similar. A utilização de dois dos métodos de agrupamento de dados contribuiu para a obtenção de grupos mais similares. Como já foi abordado existem outros métodos de agrupamento de dados que poderiam ser aplicados para obter maiores refinamentos da informação.

Neste estudo, os gráficos de sazonalidade mostraram algumas discrepâncias em alguns dos grupos escolhidos. Isto pode se explicar em alguns casos, porque o período estudado envolve os dois maiores eventos do fenômeno El Niño. Este fato pode levar a certas variações ou irregularidades nas estações estudadas, se comparadas, com os anos em que não houve o fenômeno.

Neste item destaca-se também a possibilidade de fazer uso da regionalização pluviométrica para áreas menores dentro desta bacia, aprofundando assim a análise pluviométrica, especialmente de regiões que carecem de estudos pluviométricos.

Quanto à análise pluviométrica e a influência do fenômeno El Niño;

Na análise pluviométrica observou-se que a bacia apresenta uma sazonalidade similar em toda a bacia, com um período chuvoso que começa no mês de novembro até o mês de março, sendo a maioria das vezes o mês de janeiro o mais chuvoso. Quanto à distribuição espacial de chuvas, o mapa de pluviosidade média anual gerado com as 41 estações escolhidas, apesar das estações serem poucas, mostrou um bom resultado, possibilitando observar de maneira geral a distribuição espacial das precipitações dentro da bacia, identificando assim, zonas mais chuvosas e mais secas. Este fato é apoiado com a comparação feita do mapa gerado neste estudo com o mapa gerado pelo modelo Worldclim, observando a similaridade entre ambos os dois.

Com relação à análise do fenômeno El Niño, este estudo buscou observar e identificar de forma pontual as estações afetadas por maior quantidade de chuvas ou secas nos anos 1982-1983 e 1997-1998. Somente as estações mais representativas foram destacadas, sendo um ponto de partida para um futuro estudo mais detalhado.

Atualmente, os prognósticos do clima fornecem uma idéia geral do lugar e da data em que se apresentarão condições meteorológicas extremas como resultado de El Niño. Este estudo mostra algumas das regiões vulneráveis aos eventos do fenômeno El Niño. De esta maneira é importante o conhecimento das regiões de maior vulnerabilidade e risco de epidemias para o planejamento dos programas de alerta

Como foi mencionado anteriormente, o fenômeno El Niño, pode causar muitas irregularidades nos sistemas atmosféricos. Desta maneira os glaciares dos Andes também são afectados por este fenômeno. Pesquisas recentes (POUYAUD *et. al*,

1998; FRANCOU *et. al*, 1995; RAMIREZ *et. al*, 2006) mostraram que a variabilidade dos balanços obtidos em diferentes estudos nos glaciares é influenciada pelo fenômeno El Niño (ENSO) particularmente na Bolívia e no Peru. A este fato se acrescenta a variação de temperaturas máximas e mínimas que sempre são mais elevadas em períodos do El Niño. Assim FRANCOU *et al.* (1995) mostrou-se que o balanço nos glaciares é sistematicamente negativo em eventos ENSO, devido à que existe uma redução considerável das precipitações quando há presença do fenômeno na região .

Finalmente, os problemas que os fenômenos causam estão em função das vulnerabilidades existentes nas regiões. Em paralelo ao esforço do melhor conhecimento do fenômeno El Niño, é fundamental a implementação de medidas estruturais e não estruturais de controle de cheias principalmente na parte central da bacia do rio Madeira, já que, representa uma região onde são freqüentes as inundações em períodos chuvosos, tornando-a vulnerável mesmo quando não há influência do fenômeno El Niño.

Nesse sentido e levando em consideração a importância da região, é conveniente continuar realizando pesquisas e estudos que possam contribuir com o conhecimento da dinâmica existente entre os corpos hídricos, o meio ambiente e outros aspectos, para avaliar as potencialidades e limitações destes recursos na bacia do rio Madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, Agencia Nacional de Águas. **Evolução da rede pluviométrica da bacia Amazônica.** Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/hidrometeorologia/rh_amazonica/Rede_Hidrometeorologica_Amazonia.asp?foto=29>. 2007. Acessado em: 20 Agosto, 2008, 14:30:00.
- ANDRADE, E.A. "Regionalization of small watersheds in arid and semiarid regions: cluster and andrews curve approaches" *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 18, n.4, pp. 38-49, Jan, 1999.
- ANA, Agencia Nacional de Águas. **Relatório de Atividades ANA- Exercício de 2006.** Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/_docs/Relatorio2006/portugues/index.html>.2006. Acessado em 10 Setembro 2008, 11:10:00.
- ANDRADE COELHO, C W G., **Estudo da variabilidade espacial das chuvas em Belo Horizonte a partir da expansão da rede pluviométrica: Uma análise qualitativa.** Dissertação de M.Sc., GEOGRAFIA/UFMG, Belo Horizonte, BH, Brasil, 2006.
- BALDO, M. C., DE ANDRADE, A.R., FERNÁNDES MARTINS, M.L.O., et al. "Análise de precipitação pluvial do Estado de Santa Catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano Pacífico". **Revista Brasileira de Agrometeorología**, v.8, n.2, pp. 283-293. Santa Maria. Set. 2000.
- BAPTISTA DA SILVA, J. CUNHA, F.B., GAVIÃO NETO, W. P., "Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará". **Revista Brasileira de Agrometeorología**, v.9, n.2, pp.317-324, Santa María, Nov. 2001.
- BARCKHAHN, R A. "El fenómeno el niño y su influencia en el clima", **Revista Chilena de Ingeniería**, Santiago, Chile. Jan, 2002. Disponível em: <<http://www.agu.org/revgeophys/bobee01/bobee.html>> Acessado em: 11 Dezembro, 2007, 12:50:00.

- BECKER, C.T. BRAGA, C.C., CEBALLOS, J.C., "Regionalização da precipitação e temperatura no Estado do Rio Grande do Sul a partir da análise de agrupamento". In: **Congresso brasileiro de Meteorologia**, n 7, São Paulo, pp. 225 - 229. 1992.
- BESER de DEUS, L. A., FREITAS, M. A.V. **SIG Geoamazonas**. Projeto GEF Amazonas. OTCA/PNUMA/OEA. 2006.
- BOBÉE, B., RASMUSSEN, P. "Recent advances in flood frequency analysis", **Rev. Geophysics U.S. National Report**, v. 33 Suppl. 1995. Disponível em: (<http://earth.agu.org/revgeophys/bobee01/bobee01.htm>). Acesso em: 14 maio, 2006, 13:30:00.
- BOSCARIOLI, C., **Análise de Agrupamentos baseada na Topologia dos dados e em mapas auto-organizáveis**. Tese de D.Sc., USP/ESCOLA POLITÉCNICA, São Paulo, SP, Brasil, 2008.
- BRASIL, SENADO FEDERAL, **O El fenômeno El Niño**. Relatório n.4, Comissão El Niño. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/web/relatorios/elnino/fenomeno.htm>>.
- BRINGEL, S.R.B. **Aspectos climáticos da Bacia do rio Madeira**. Disponível em: <http://www.amazoniaavista.com.br/Noticias_ListaCat.asp?IDCat=11>. Acessado em: 17 fevereiro 2007, 22:30:00.
- CAF, Corporación Andina de Fomento. "Aspectos Climáticos del fenómeno El Niño en Bolivia" In: **Las Lecciones del Niño-Bolivia**. 1ed, Cap. I, CAF, 2007.
- CARVALHO, A.M.G. de, **Conexões entre a circulação em altitude e a convenção sobre a América do Sul**. Dissertação M.Sc.INPE, São José dos Campos, Fev. 1989.
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y El Caribe. **El Fenómeno El Niño, su naturaleza y los riesgos asociados a su presencia recurrente.**, México, Jan, 1998
- CIRAM, Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorología de Santa Catarina. **Monitoramento dos fenômenos climáticos e o seu impacto. El Niño**. Disponível em: <<http://ciram.epagri.rct->

sc.br/portal/website/index.jsp?url=jsp/clima/elNino.jsp&tipo=clima>.

Acessado em: 16 Ago. 2008, 22:00:00.

CNRH, CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução Nº 30, de 11 de Dezembro de 2002.** (Publicado DOU em 19/03/2003).

COSTA, J.A.F., **Classificação automática e análise de dados por redes neurais auto-organizáveis.** Tese D.Sc., UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 1999.

DA SILVA, M.J.G., **Boletim climatológico de Rondônia,** Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental SEDAM 1999. Disponível em:<<http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Meteorologia/Climatologia>>.
Acessado em: 26 Fev 2008.14:45:00.

DA SILVA, I.R. **Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região sul do Brasil associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico.** Dissertação de M.Sc. INPE, São José dos Campos, Brasil, 2004.

DE ARAGÃO J.R.O., « O impacto do ENSO e do dipolo do atlântico no nordeste do Brasil » In: **Consecuencias climáticas e hidrológicas del evento El Niño a escala regional y local- Incidencia en América del Sur.** Secretaria de Ciência ,Tecnologia e Meio Ambiente (Sectma) do Governo do Estado de Pernambuco, 2000.

DE OLIVEIRA, G.S. 2001. **O El Niño e Você: o fenômeno climático,** Ed. Transec, São José dos Campos, março 2001. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/enos/Oque_el-nino.shtml>. Acessado em: 26 Jun 2007, 11:50:00.

DE SOUZA, F.T., **Predição de escorregamentos das encostas do Município do Rio de Janeiro através de técnicas de mineração de dados.** Tese D.Sc. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

DINIZ, G. B. "Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima do Rio Grande do Sul", **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, pp. 303-312, Santa Maria, 2003.

DO VALE, M.N., **Agrupamento de dados: Avaliação de métodos e desenvolvimento de aplicativo para análise de grupos.** Dissertação M.Sc., PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

- EVSUKOF, A.G. **Introdução as técnicas de Data Mining**, 2005. Disponível em: <<http://www.Incc.br/verao/verao05/arquivos/Intro%20Data%20Mining%201.pdf>>. Acessado em 18 Jul 2008. 11:25:00.
- EVERIT, B.S., LANDAU, S., MORVEN, L., **Cluster Analysis**. 4a. ed. Hodder Arnold Publishers, Londres. 2001.
- FILIZOLA, N., DA SILVA, A. V., DOS SANTOS A.M.C. et al. "Cheias e secas na Amazonia: breve abordagem de um contraste na maior bacia hidrografica do globo". **T&C Amazonia**, ano IV, n. 9, pp. 42-49, Ago.2006.
- FILIZOLA, N., GUYOT, J.L., MOLINIER, M. et al. "Caracterização Hidrológica da bacia Amazônica". In: **A. Rivas & C. Freitas (Org), v. 1, Amazônia – Uma perspectiva interdisciplinar**. Agencia Nacional de Energia Elétrica, pp. 33-53, 2002.
- FISCH, G.; LEAN, J., WRIGHT, I.R, et al., "Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região Amazônica: Estudo de um caso em Rondonia", **Artigo Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, pp. 33-48, 1997.
- FISCH, G., MARENGO, J. A., NOBRE, C.A. "Clima da Amazônia". **Climanalise especial. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE): Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, 1990. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>>. Acessado em: 18 Ago 2008. 22:00:00.
- FRANCOU, B., RIBSTEIN, P., SÉMIOND, H. et al. "Balances de glaciers y clima en Bolivia y Perú: Impactos de los eventos ENSO". **Bull. Inst. Fr. Études Andines**, n.24,3 pp. 661-670, 1995.
- FREITAS, M. A. V. "Vulnerabilidades Climáticas e Antrópicas da Bacia Amazônica: Desafios para a Gestão Integrada da Água". In: **2nd Meeting of National Coordinators of the Project "Integrated and Sustainable Management of the Transboundary Water Resources in the Amazon River Basin"**, Quito, EC, 18 Jun. 2006.
- FUNG, G. A comprehensive Overview of Basic Clustering Algorithms, 2001. Disponível em: <<http://www.cs.wisc.edu/~gfung/clustering.pdf>>. Acessado em: 23 Jun. 2008, 17:50:00.

- GALVAO, W. S., MENEZES, P. R.. “Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas”, **In: Anais do XII Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto**, pp. 2511-2518. Goiânia, Abr. 2005.
- GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E.; **The Smithsonian Atlas of the Amazon**. 1ed, Smithsonian Institution, 2003, 253p.
- GUYOT, J.L. **Hydrogéochimie des fleuves de l’Amazonie Bolivienne**, ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, Paris, 1993.
- GUYOT, J.L., CALLÈDE, J., COCHONNEAU, G. et al. “Caractéristiques hydrologiques du bassin amazonien”. **In: Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins**. Manaus, 1999.
- GUYOT, J.L., JOUANNEAUB, J.M., WASSONC, J. G. “Characterization of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia)”. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 12 pp. 401-410, 1999.
- HJIMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L. et al. « Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas ». **International journal of Climatology**. n 25 pp. 1965-1978, May 2005.
- JOHNSON, A.M. “The climate of Peru, Bolivia and Ecuador”. **World Survey of Climatology**. v. 12, **In: climates of central and South America**. Elsevier Schwerdtfeger, W. (ed) pp.147-218. 1976.
- KELLER FILHO, T., ASSAD, E.D., SCHUBNELL, P.R. de R.L., “Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil” **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.40, n.4, pp. 311-322, Brasília, abr 2005.
- MARENGO, J.A.O. **Extreme climatic events in the Amazon Basin and their associations with the circulation of the global tropics**. Tese Ph. D., Department of Meteorology, University of Wisconsin-Madison, [available from Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin-Madison, Madison WI 53706] 1991. 147p.

- MASSON, C.G.. **Subsídios para uma gestão dos recursos hídricos na Amazônia: Estudo de caso da bacia do rio Madeira**. Dissertação de M.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- MATTOS, R.R., CRESPO, A. **Informe nacional sobre la gestión del agua de Bolivia**. Jan. 2000. Artigo disponível em: <<http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/GestRecAgua.htm>>. Acesso em: 16 Jan. 2007. 15:24:00.
- METZ, J., MONARD, M.C. « Clustering hierárquico: uma metodologia para auxiliar na interpretação dos clusters ». **XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, São Carlos, SP, Disponível em: <<http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=376>>. Acessado em: 15 set 2008, 16:25:00.
- MI., Ministerio de Integração Nacional **Proposta de Reestruturação do Programa de Desenvolvimento da Faixa de Fronteira**. 2005. 418p.
- MITCHEL DUTRA, R. M., SPERANDIO, M. ; COELHO, J. « O Método Ward de Agrupamento de Dados e sua Aplicação em Associação com os Mapas Auto-Organizáveis de Kohonenp ». In: **I WorkComp Sul - Workshop de Ciências da Computação e Sistemas da Informação da Região Sul**, UNISUL, Florianópolis, 2004.
- MOLINA, J.C. « Régimen de precipitación en la cuenca de Huarinilla-Cotapata, La Paz-Bolivia » **Revista Ecología en Bolivia**, n 40(1), pp. 43-55, La Paz-Bolivia, Junho, 2005.
- MOLION, L.C.B. « Climatologia dinamica da regio amazonica: mecanismos de precipitação ». **Revista Brasileira de Meteorologia, Ministerio da Ciência e Tecnologia - MC Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE** Vol. 2, pp107- 117 São Jose dos Campos, SP, 1987.
- NAGHETTINI, M. PINTO, E.J.de A. **Hidrología Estatística**, 1ed, Belo Horizonte, MG. CPRM, 2007.
- NETO, A.R., **Simulação hidrológica na Amazônia : Rio Madeira**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

- OMM – Organização Meteorológica Mundial. **Observando o Meio Ambiente: tempo, clima e água**, OMM, 1994.
- OPS, Organización Panamericana de la Salud. **Crónicas de Desastres, Fenómeno El Niño 97-98**. (Serie Crónicas de Desastres, 8) Washington, D.C., Agosto, 2000, 294p.
- OPS, Organização Pan-Americana da Saúde. Oscilação Sul (El Niño)”. **25a Conferência sanitária Pan-Americana - 50a Sessão do comitê regional**, Washington, D.C., Set.1998.
- PAKHIRA, M. K., BANDYOPADHYAY, S, MAULIK, U., 2004, **Validity Index for Crisp and Fuzzy Clusters**, Pattern Recognition, v. 37, n. 3, pp 487 – 501.
- PEREIRA, G.C., **Mineração de dados para análise e diagnóstico ambiental**. Tese D.Sc. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- PNCC, Programa Nacional de Cambios Climáticos, **Diagnóstico de redes de observación sistemática para el cambio climático em Bolivia**. 1ed, La Paz, Bolivia, 2002.
- POUYAUD, B., FRANCOU, B., RIBSETEIN, P.W. *et al.* Programa Nieves y Glaciares Tropicales (NGT): Resultados (1991-1996) obtenidos en Bolivia. **Bull. Inst. fr. Études andines**. N. 27 (3) pp. 395-409, 1998.
- PORTO-GONÇALVES, C. **Os porquês da desordem mundial: o desafio ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Record, 2004.
- RAMIREZ, E., BERGER, T., RAMALLO, C. “Impact of climatic change on the water resource availability in the Bolivian Cordillera, a case study: The Zongo and Tuni catchments”. In: **Cambio Climático. “Organizando la Ciencia para la Cordillera Americana”** – CONCORD. Mendoza, 2006.
- RAMOS, F., GARCIA, A. O., VILLA NOVA, N. A. et al., **Engenharia Hidrológica**. 1 ed. Rio de Janeiro, ABRH-Editora UFRJ. 1989.
- REBELLO, “E. Anomalias climáticas e seus impactos no Brasil durante o evento “El Niño” de 1982-83 e previsão para o evento “El Niño” de 1997-98”. In: **Seminário Internacional: Consecuencias climáticas e hidrológicas del**

evento el niño a escala regional y local: Incidencia en América del Sur. Segunda Parte: Consecuencias locales y regionales del ENSO. 2000.

ROCHE, M.A., JAUREGUI, C.F, RIVERA, A.A. et al., **Balance hídrico de Bolivia.** 1ª ed. UNESCO-PHICAB, La Paz, 1992. 16p.

SANTOS, D.M., DA ROCHA, E.J.P, RIBEIRO, J.B.M. et al. "Influência dos fenômenos El Niño e La Niña na precipitação do estado do Amazonas" **In: II Workshop de avaliação técnica e científica da rede CTPetro Amazônia.** INPA, Manaus, Brasil, Nov. 2006.

SDS, Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. Estado do Amazonas. **Nota Técnica sobre a seca no Amazonas.** Manaus, outubro de 2005. Disponível em <http://www.sds.am.gov.br/dsv/download/img_download/20051018153725NOTA_TECNICA_CLIMA.doc>. Acessado em: 16 agosto 2007, 18:45:00.

SENAMHI, Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología. **Sistema de monitoreo y alerta temprana para zonas propensas a inundaciones en la cuenca del rio Mamoré.** Dic.1999.

SENAMHI, Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología. **El Niño en Bolivia,** La Paz, 2002. Disponível em: <<http://www.senamhi.gov.bo/meteorologia/nino.php>>. Acessado em: 14 Nov. 2007. 15:40:00.

TERRAZAS, L.E.M., SELEME, M.E. "Bolivia" In: TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C. ARBH, **Inundações Urbanas na América do Sul.** Cap. 5, ARBH, 2005. Disponível em: <<http://www.foroagua.org.py/livro%20inundacoes%20urbanas/?C=D;O=A>>. Acessado 23 Jan/2008, 16:49:00.

TORRICO, O.E. **Balance Hídrico Superficial de la cuenca del rio Beni: Amazonia Bolivia.** Proyecto de Grado. UMSA. SENAMHI- PHICAB, ORSTOM, IHH, CONAPHI. La Paz, Out, 1985.

TRENBERTH, K., "The El Niño-Souther Oscillation System. Environmental, and Policy Perspectives", **National Center for Atmospheric Research.** Colloquium on El Niño-Southern Oscillation (ENOS): Atmospheric, Oceanic, Scietal. 1st, Boulder (Colorado, USA), 1997.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4 ed. Rio Grande do Sul, UFRGS/ABRH, 2007.

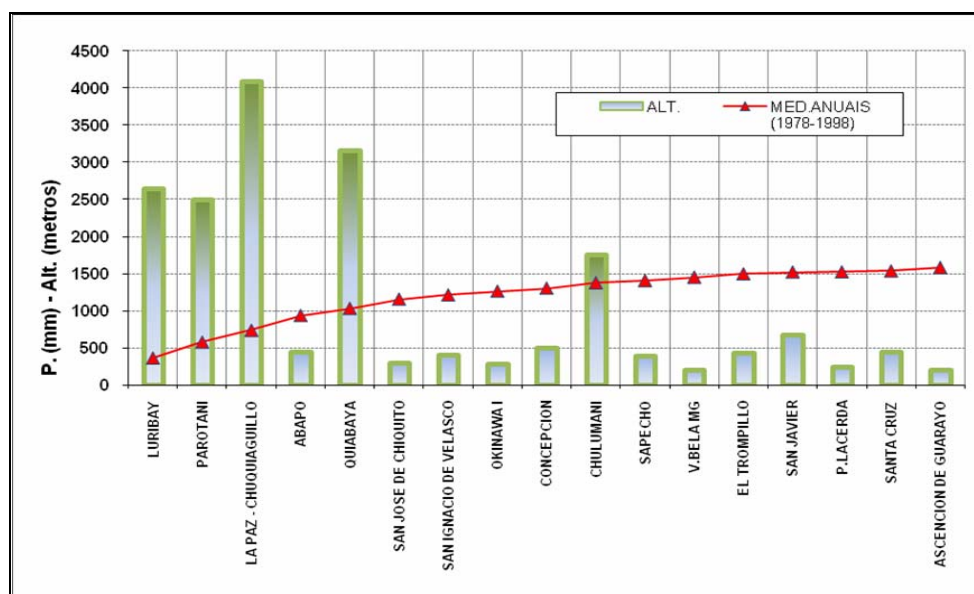
TUCCI, C.E.M., Regionalização de vazões. **Hidrologia**. 1 ed, Porto Alegre, EDUSP, ABRH, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4). pp. 573-611, 1993.

VAN DAMME, P. "Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia". **Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible**, Johannesburgo, CGIAB – CONIAG (Comisión para la gestión integral del agua e Consejo Interinstitucional del Agua). Nov. 2002.

ANEXO I – Graficas e tabela de Precipitação e Altitude nas estações dos Grupos 1, 2, 3 e 4 da bacia do rio Madeira.

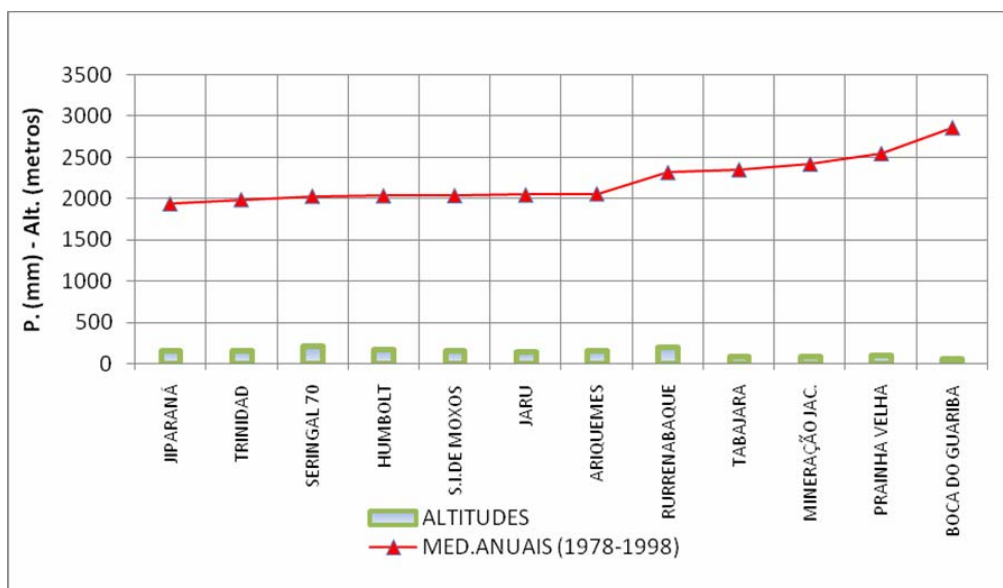
Grupo 1

MED.ANUAIS (1978-1998)	ALT.	GRUPO 1a - 1b
360,6	2644	LURIBAY
573,3	2500	PAROTANI
732,6	4084	LA PAZ - CHUQUIAGUILLO
932,9	450	ABAPO
1026,9	3161	QUIABAYA
1151,6	297	SAN JOSE DE CHIQUITO
1209,0	412	SAN IGNACIO DE VELASCO
1259,2	280	OKINAWA I
1299,0	496	CONCEPCION
1372,9	1752	CHULUMANI
1402,4	395	SAPECHO
1445,8	200	V.BELA MG
1491,4	437	EL TROMPILLO
1516,4	674	SAN JAVIER
1518,0	240	P.LACERDA
1530,8	443	SANTA CRUZ
1577,7	198	ASCENCION DE GUARAYO



Grupo 2

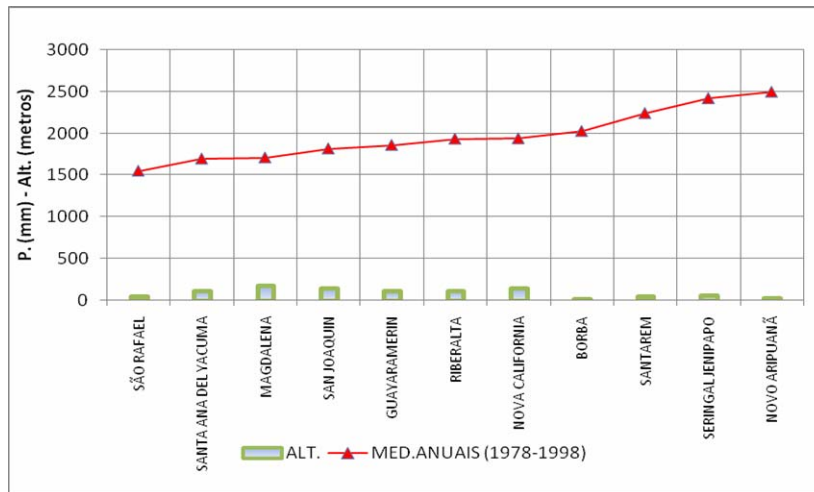
MED.ANUAIS (1978-1998)	ALT.	Grupo 2
1943,1	156	JIPARANÁ
1992,2	157	TRINIDAD
2034,6	217	SERINGAL 70
2040,1	181	HUMBOLT
2041,3	160	S.I. DE MOXOS
2050,3	146	JARU
2062,3	168	ARIQUIMES
2317,9	202	RURRENABAQUE
2353,5	96	TABAJARA
2420,6	86	MINERAÇÃO JAC.
2548,2	107	PRAINHA VELHA
2858,9	60	BOCA DE GUARIBA



Grupos 3 e 4

MED.ANUAIS (1978-1998)	ALTITUDES	Grupo 3
4306,8	264	LA JOTA

MED.ANUAIS (1978-1998)	ALT.	Grupo 4
1550,7	58	SÃO RAFAEL
1696,7	122	SANTA ANA DEL YACUMA
1709,4	183	MAGDALENA
1817,0	152	SAN JOAQUIN
1859,3	120	GUAYARAMERIN
1933,8	122	RIBERALTA
1939,5	153	NOVA CALIFORNIA
2026,0	25	BORBA
2240,4	49	SANTAREM
2420,1	60	SERINGAL JENIPAPO
2494,9	33	NOVO ARIPUANÃ



ANEXO II - Tabela de Precipitações Medias Mensais na série 1978-1998.

MEDIAS MENSAS DA SERIE DE 21 ANOS

MÊS DE MAIOR PLUVIOSIDADE
SEGUNDO MÊS DE MAIOR PLUVIOSIDADE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LURIBAY	89.4	43.0	49.4	15.7	5.2	4.9	3.1	7.8	15.4	17.0	43.9	65.8
PAROTANI	146.0	99.2	97.4	18.9	1.6	2.2	0.7	5.9	11.4	25.2	62.0	102.9
LA PAZ - CHUQUIAGUILLO	155.2	104.5	93.0	49.1	14.9	12.5	5.6	18.3	35.5	54.5	82.4	107.0
ABAPO	145.7	132.5	116.7	88.8	69.3	50.7	21.2	10.4	27.3	62.5	88.6	119.2
QUIABAYA	204.8	163.1	147.4	64.9	25.4	25.6	13.4	26.1	58.0	61.1	98.1	139.0
SAN JOSE DE CHIQUITO	200.0	147.7	169.9	64.2	69.8	27.1	13.6	34.8	57.0	86.7	136.4	144.5
SAN IGNACIO DE VELASCO	210.7	190.1	140.8	79.6	52.7	23.6	17.9	24.3	67.2	83.7	154.3	164.2
OKINAWA I	217.6	145.1	101.2	85.8	104.3	63.0	37.8	56.9	79.1	86.4	131.6	150.3
CONCEPCION (AASANA)	218.9	189.2	144.8	94.1	50.9	38.3	21.8	37.8	64.7	85.9	148.7	204.0
CHULUMANI	246.6	188.5	164.5	75.5	37.0	31.9	27.5	70.4	110.3	117.2	129.5	174.0
SAPECHO	215.4	194.6	150.4	135.2	60.1	47.0	24.1	61.7	72.5	104.9	130.7	206.0
V.BELA MG	277.0	234.6	198.3	121.7	51.0	17.7	18.3	27.3	47.0	86.8	151.0	215.2
EL TROMPILLO (AASANA)	210.9	180.3	141.1	126.2	108.1	73.9	60.9	49.0	84.6	103.4	156.4	196.7
SAN JAVIER (AASANA)	235.8	195.2	177.7	126.6	84.8	52.5	26.2	42.5	99.7	97.2	166.8	211.3
P.LACERDA	273.5	243.8	234.2	138.6	61.5	19.4	8.8	22.4	44.2	94.2	149.7	227.7
SANTA CRUZ (AASANA)	218.6	181.4	139.1	126.6	110.4	77.0	59.6	51.4	84.3	114.4	167.6	200.4
ASCENCION DE GUARAYO	278.2	226.1	163.5	96.9	74.2	45.1	22.2	52.0	86.0	96.9	202.8	233.7
JIPARANÁ	325.6	291.3	267.2	165.7	75.8	17.8	10.3	24.9	82.4	156.4	209.8	315.9
TRINIDAD (AASANA)	319.0	278.1	239.3	119.1	130.7	36.4	28.5	51.4	132.4	152.9	229.0	275.5
SERINGAL 70	306.1	281.9	315.6	207.1	90.2	17.7	6.0	44.5	96.8	170.1	224.8	273.7
HUMBOLT	339.4	357.8	304.5	196.1	70.3	19.1	9.2	20.4	73.8	148.7	213.5	287.4
SAN IGNACIO DE MOXOS	325.0	300.1	255.3	142.3	110.3	65.9	28.9	46.2	93.5	175.3	178.6	319.9
JARÚ	300.2	310.6	330.9	201.8	84.6	13.3	10.7	34.2	92.6	163.6	218.3	289.3
ARIQUEMES	304.7	324.7	291.5	194.9	106.8	13.1	6.2	30.1	107.9	171.8	244.1	266.5
RURRENABAQUE	309.1	355.3	280.6	180.6	145.9	145.9	91.7	84.1	92.2	151.7	196.1	284.7
TABAJARA	343.7	301.4	326.2	227.2	141.5	31.2	19.2	54.8	135.0	216.4	238.5	318.3
MINERAÇÃO JAC.	382.3	334.1	399.7	232.7	112.9	36.4	11.2	31.9	113.3	175.8	258.8	331.6
PRAINHA VELHA	350.9	344.1	355.1	272.6	163.9	59.8	31.2	53.5	144.4	183.6	270.4	318.8
BOCA DO GUARIBA	389.4	397.3	378.0	275.2	177.3	44.3	23.2	61.4	175.5	249.1	285.4	402.9
LA JOTA	736.5	593.4	503.7	326.4	218.4	157.8	125.1	140.2	185.1	258.6	460.9	600.7
SÃO RAFAEL	189.5	210.0	221.1	174.0	105.0	45.0	24.3	47.4	96.2	125.3	147.8	165.1
SANTA ANA DEL YACUMA	282.6	266.1	203.5	144.0	69.7	21.8	19.7	29.5	86.9	122.6	212.6	237.9
MAGDALENA	285.6	267.1	257.2	137.5	70.6	19.6	11.4	23.0	68.1	138.3	206.2	224.8
SAN JOAQUIN	310.3	274.9	285.4	140.5	84.3	20.4	17.6	39.6	63.5	131.4	215.6	233.5
GUAYARAMERIN (AASANA)	313.4	268.2	264.9	180.9	74.9	17.5	11.2	27.1	88.9	145.3	237.5	229.6
RIBERALTA (AASANA)	306.3	280.9	268.0	201.4	65.7	22.4	17.4	20.7	74.3	155.3	231.2	290.4
NOVA CALIFORNIA	284.5	275.1	270.8	212.6	112.8	28.6	13.9	38.9	105.8	140.2	211.9	244.4
BORBA	217.0	214.6	227.7	209.8	229.5	158.4	105.1	85.9	102.3	135.9	159.4	180.5
SANTAREM	355.5	273.0	338.9	240.0	138.7	48.0	28.9	51.4	132.3	159.8	211.4	262.4
SERINGAL JENPAPO	307.0	317.3	340.0	305.9	185.1	62.5	49.0	62.4	146.3	173.8	223.3	247.5
NOVA ARIPUANÁ	321.3	321.7	370.1	282.2	229.6	98.1	60.7	85.8	107.6	160.4	202.0	255.3

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)