



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ROGÉRIO DE SOUZA AGUIAR

**ANÁLISE DO REGIME HIDROLÓGICO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA
DO RIO AMAZONAS**

BELÉM-PARÁ
2017

ROGÉRIO DE SOUZA AGUIAR

**ANÁLISE DO REGIME HIDROLÓGICO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA
BACIA DO RIO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha.

**BELÉM-PARÁ
2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Aguiar, Rogério de Souza, 1988-

Análise do regime hidrológico e da disponibilidade hídrica da
Bacia do Rio Amazonas / Rogério de Souza Aguiar. – 2018.

60 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Edson José Paulino da Rocha

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2017.

1. Hidrografia - Amazonas, Rio, Bacia. 2. Hidráulica. 3.
Recuperação ecológica - Amazonas, Rio, Bacia. 4. Água –
armazenamento - Amazonas, Rio, Bacia. I. Título.

CDD 22. ed.: 551.4609811

Elaborada por
Lucia de Fátima Imbiriba de Sousa
CRB-2/652

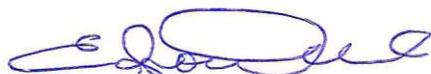
ROGÉRIO DE SOUZA AGUIAR

**ANÁLISE DO REGIME HIDROLÓGICO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA
BACIA DO RIO AMAZONAS**

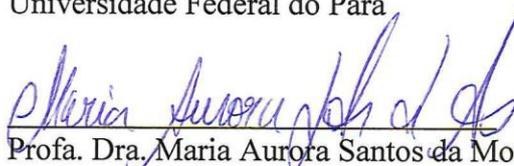
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 25 / 05 / 2017

Banca Examinadora:



Profa. Dr. Edson José Paulino da Rocha - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Profa. Dra. Maria Aurora Santos da Mota - Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes - Membro
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico
Úmido
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Marcos Adami - Membro
Doutor em Sensoriamento Remoto
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Dedico este trabalho aos meus pais, Raimunda e Cristovão, pelo apoio e paciência durante minha ausência no desenvolvimento desta dissertação, aos meus irmãos, Rafaela e Cristiano e sobrinhos, Lucas, Alice, Amanda e Valéria pela força e por acreditar que sempre daria conta do recado.

AGRADECIMENTOS

Antes de ser um bom profissional, seja um excelente ser humano. Se puder, tenha o propósito de acreditar que com a modernização do conhecimento, é possível contribuir, um pouco, na respiração da floresta e na correria dos rios que envolvem e inicia o ciclo da vida. Ir além do conhecimento dessa natureza, mas se sentir um só com ela. Pois em meio a essa revolução de tecnoinformações, o homem pouco tem revolucionado na diminuição das suas pegadas.

E foi nessa certeza que cheguei até aqui. Toda gratidão a Deus por me mostrar a como usar a força e a alegria dada.

Ao Professor Dr. Edson José Paulino da Rocha, por compartilhar seus importantes conhecimentos sobre estudos hidrológicos na região amazônica e por me confiar uma excelente proposta de trabalho. Aos Professores membros da banca examinadora que aceitaram participar e por todas as contribuições pertinentes a melhoria da tese. A coordenação, colegas, professores e funcionários do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Aos colegas de curso Joyse Tatiane e Josiane Santos pelo incentivo a desenvolver esta dissertação e Duber Chinguel pelas prosas peruanas.

Enfim, acredito que esta vitória não foi apenas minha, mas de todos que me permitiram aguentar firme, em especial aos que me esperavam em casa, meus pais, Raimunda e Cristovão. Pela força e por acreditar que sempre daria conta do recado, meus irmãos, Rafaela e Cristiano e sobrinhos, Lucas, Alice, Amanda e Valéria.

A ONG Enactus e ao Time formado por estudantes dos mais variados cursos da UFPA que me fez e ainda faz vivenciar grandes momentos de crescimento pessoal. Agora sim acredito em um mundo melhor feito com as nossas próprias mãos, através do empoderamento de pessoas. Com eles vi que uma frase antiga e que foi utilizada na minha semana do calouro faz sentido: “Esqueçam tudo que aprenderam, comecem por sonhar”.

Ao descobrir o caminho, minha missão foi de apenas seguir sem hesitar. Se não fosse pela ameaça natural do cansaço e das consequências de uma decisão precipitada de desistir no meio do caminho, sem dúvida, não chegaria aqui dando tanto valor a este presente que eu tinha nas mãos. As coisas poderiam até dar errado, mas não deveria deixar ninguém definir meus limites e o amadurecimento ao longo deste processo.

RESUMO

A Amazônia vive ano após ano a dinâmica de cheias e vazantes nos seus rios. No entanto, expressiva variabilidade das descargas fluviais diante de séries históricas dos dados climáticos passou a ser mais persistentes ao longo dos anos. Este estudo busca analisar a influência da variabilidade temporal em escala de bacia hidrográfica sobre o regime do rio Amazonas, a partir das vazões observadas na estação hidrológica da Agência Nacional de Águas – ANA, localizada em Óbidos, no Estado do Pará em uma série histórica de janeiro/1970 a dezembro/2013. Além do tempo, o estudo analisou a intensidade de mecanismos oceânicos sobre a bacia Amazônica Brasileira em cada ano da série. Como esperado, o tempo influenciou na vazão média interanual encontrada de $98.723 \text{ m}^3/\text{s}$ para os 44 anos da série analisada. Porém apresentando a vazão média do rio Amazonas com uma expressiva variabilidade de amplitude entre picos de máximo e mínimo do rio, entorno de $134.000 \text{ m}^3/\text{s}$, com a vazão variando de ordem de $105.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (como ocorrido em novembro) no regime hidrológico de vazante até uma ordem de $239.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (como em junho) no regime de cheia. Também foi identificado que fenômenos de El Niño e La Niña modularam eventos climáticos extremos causando anomalias de TSM negativas e positivas diferenciadas sobre a bacia Amazônica, no período de 1970 a 2013 com significante relação no comportamento das vazões de vazante e de cheia. A análise interanual mostrou que os anos de baixas vazões registradas, possuíam a característica de persistência de ocorrência em relação as altas vazões registradas. No final do período analisado, a partir de 1989, houve um aumento sazonal em relação à amplitude média da vazão de $87.727 \text{ m}^3/\text{s}$ devido a fortes níveis mínimos registrados. Ao analisar a vazão normalizada percebeu-se a persistência de vazão baixa no ano em curso do fenômeno El Niño e também do ano seguinte. Após constatar esta persistência de vazão abaixo da média na série estudada, a pesquisa buscou investigar quanto aos fatores de armazenamento e disponibilidade do rio Amazonas. Na determinação da disponibilidade hídrica do rio Amazonas foi utilizado o método dos Percentis (especificamente a ordem quantílica Q95%). As análises das vazões disponíveis obtidas pelo quantil 95% mostram que os anos do fenômeno El Niño não refletiram na diminuição da vazão do rio Amazonas em todos os anos da série, pois houve anos de ocorrência que não apresentaram índices críticos de disponibilidade hídrica. Concluiu-se que o comportamento das vazões na bacia Amazônica sofreu a influência de anomalias de TSM negativas e positivas moduladas pela intensidade do El Niño e La Niña, não havendo disponibilidade hídrica suficiente para a manutenção dos

ecossistemas da bacia Amazônica. Assim o estudo mostrou que naturalmente as vazões anuais do rio Amazonas não atingem, em sua totalidade, o valor mínimo determinado para as séries históricas pela lei. Além de que as variabilidades hidrológicas na Amazônia não são causadas somente pelos fenômenos de El Niño ou La Niña.

Palavras-chave: Hidrografia. Vazão. Recuperação ecológica. Armazenamento hídrico. Bacia do Rio Amazonas.

ABSTRACT

The Amazon lives year after year the dynamics of Floods and lowing in its rivers. However, significant variability of river discharges in the face of historical series of climate data has become more persistent over the years. This study aims to analyze the influence of the temporal variability in the basin scale on the Amazon river regime, based on the flows observed in the hydrological station of the Agência Nacional de Águas - ANA, located in Óbidos, State of Pará, in a historical series of January / 1970 to December / 2013. Besides the time, the study analyzed the intensity of oceanic mechanisms on the Brazilian Amazon basin in each year of the series. As expected, time influenced the annual interannual flow rate of $98.723 \text{ m}^3/\text{s}$ for the 44 years of the analyzed series. However, the average flow rate of the Amazon River was around $134.000 \text{ m}^3/\text{s}$, with a peak flow rate of $105.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (as occurred in November) in the hydrological regime of effluent up to an order of $239.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (as in June) in the flood regime. It was also identified that El Niño and La Niña phenomena modulated extreme climatic events causing negative and positive SST anomalies differentiated over the Amazon basin, between 1970 and 2013, with a significant relation in the effluent and flood flows. The interannual analysis showed that the years of low registered flows, had the characteristic of persistence of occurrence in relation to the registered high flows. At the end of the analyzed period, from 1989, there was a seasonal increase in relation to the average amplitude of the flow of $87.727 \text{ m}^3/\text{s}$ due to the strong minimum levels recorded. When analyzing the normalized flow, it was observed the persistence of low flow in the current year of the El Niño phenomenon and also of the following year. After verifying this below-average persistence of flow in the series studied, the research sought to investigate the storage and availability factors of the Amazon River. In determining the water availability of the Amazon River, the Percentis method (specifically the quantum order Q95%) was used. The analyzes of the available flows obtained by the 95% quantile show that the years of the El Niño phenomenon did not reflect the decrease in the flow of the Amazon River in all years of the series, since there were years of occurrence that did not present critical indices of water availability. It was concluded that the flow behavior in the Amazon basin was influenced by positive and negative SST anomalies modulated by the intensity of El Niño and La Niña, and there was not sufficient water availability for the maintenance of the ecosystems of the Amazon basin. Thus the study showed that naturally the annual flows of the Amazon River do not reach, in their totality, the minimum value determined for the historical series by the law.

In addition to that the hydrological variabilities in the Amazon are not caused only by the phenomena of El Niño or La Niña.

Keywords: Hydrography. Flow rate. Ecological recovery. Water storage. Amazon River Basin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Área de contribuição da estação fluviométrica de Óbidos detalhando a seção de medições de descarga.	29
Figura 02 – Regime de vazões mensais média na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.	35
Figura 03 – Regime de vazões mensais média e as elevações máxima e mínima na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.	35
Figura 04 – Regime de vazões anuais na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.	40
Figura 05 - Amplitude das vazões anuais na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013	40
Figura 06 – Fenômenos de EN (seta em vermelho) e LN (seta em amarelo) em vazão no regime hidrológico da estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.	42
Figura 07 - Regime de vazões de 1970-2013 ordenadas crescentemente para determinação da frequência de ocorrência da vazão Q95% interanual do rio Amazonas.	47
Figura 08 - Oferta hídrica disponível em cada ano do período de 1970-2013 no rio Amazonas	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais.....	27
Tabela 02 - Períodos de ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña no período de 1970-2013	29
Tabela 03 – Vazões médias do rio Amazonas (m ³ /s).....	34
Tabela 04 – Vazões Q95% para ser mantida no rio Amazonas em cada mês no período de cheia e no período de vazante.....	43
Tabela 05 – Disponibilidade Hídrica Negativa ou igual ou inferior a Q95% (Em círculo vermelho)/ Anos de EN (em amarelo) no período de 1970 a 2013.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 O Ambiente Amazônico	18
3.1.1 Variabilidade do regime hidrológico do Amazonas	19
3.2 Disponibilidade hídrica fluvial	20
3.3 Relação entre o fenômeno de El Niño e o regime de vazão fluvial da bacia do rio Amazonas	21
3.4 Legislação no Brasil sobre a vazão de referência	24
4 MATERIAIS E MÉTODO	28
4.1 Dados de vazão	28
4.2 Método	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Comportamento da componente vazão do rio Amazonas no tempo	34
5.1.1 Regime hidrológico anual	34
5.1.2 Variação interanual do regime hidrológico	37
5.1.3 Variação do regime hidrológico diante aos eventos extremos	38
5.2 Disponibilidade hídrica do rio Amazonas em função da Q95%	43
5.2.1 Análise da disponibilidade hídrica anual diante a vazão Q95%	43
5.2.2 Análise da disponibilidade hídrica interanual diante a vazão Q95%	47
6 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE	59
APÊNDICE A – GRÁFICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA	60

1 INTRODUÇÃO

O rio Amazonas é um dos mais importantes do nosso planeta, tanto pela extensão de seu curso, quanto pela superfície de sua bacia hidrográfica e sua descarga (CALLÈDE, 1996). Os recursos hídricos presentes em rios e lagos no território nacional são imensos, conforme a Agência Nacional de Águas (2007b), mesmo em épocas de menores vazões observadas (estiagem).

A Amazônia vive ano após ano a dinâmica de estiagem e cheias dos rios. No cotidiano do homem amazônico esse processo é encarado com naturalidade, pois este aprendeu a adaptar-se de forma sábia a variabilidade sazonal dos rios da região. Contudo este processo foi alterado em decorrência dos eventos climáticos ocorridos na primeira década do século XXI (OLIVEIRA, 2012) e expressiva variabilidade das descargas fluviais é uma realidade natural diante de séries históricas de dados climáticos. Nesse sentido, não apenas a variabilidade temporal do estoque de água é importante, mas também em que área da Amazônia essa flutuação acontece mais rapidamente, pois pode indicar áreas mais potencialmente vulneráveis a estiagens prolongadas ou mesmo que sofreram impactos mais rápidos das cheias (GUEDES, 2010).

O regime de descargas geralmente é baseado nas descargas médias mensais e permite a avaliação da sazonalidade das vazões. Suas descargas média, máxima e mínima anuais podem revelar as possíveis variações ao longo da série histórica da estação. Estes aspectos de avaliação tornam-se importantes devido às interações entre o homem e o ambiente, cujos resultados geralmente promovem alterações nos aspectos de intensidade das descargas na bacia hidrográfica (ROCHA, 2010). Tanto que começou a ter falta de água inesperada entre 2012 e 2013 em várias regiões do Brasil. A incidência de eventos de seca no Brasil tem sido recorrente. Em 1.485 municípios, 27% de todos os municípios do país, declararam estado de emergência devido à ocorrência de seca em 2013 (ANA, 2007a).

Com o aumento das mudanças climáticas globais e da alteração da intensidade das descargas na bacia hidrográfica, há necessidade de avaliar o regime hidrológico de cheias e vazantes do rio Amazonas disponível ao longo do tempo, através da avaliação conjunta da variabilidade hidrológica e da persistência de ocorrências de cheias e vazantes extremas.

Poucos estudos investigaram a variabilidade interanual da hidrologia da Amazônia (CHEN et al., 2009). Os atuais estudos sobre hidrologia e hidrografia baseiam-se apenas em informações insuficientes de precipitação e escoamento, que não permite obter o

tempo em que estas áreas são potencialmente vulneráveis, pois não levam em consideração os estudos em escala temporal de uma bacia, bem como a magnitude que os diferentes componentes de armazenamento e variabilidade podem influenciar no regime de seus rios. No caso do rio Amazonas e seus tributários, afeta diferentemente nas partes sul, norte, leste e oeste.

A amplitude anual do nível da água do rio principal varia entre 2 e 18 metros, dependendo da localização (GUYOT et al., 1999).

Callède et al. (2004) sugeriram aumento da descarga média do rio principal perto de Óbidos e interpretam isso como resultado do desmatamento, mas Marengo (2004) atribui isso à variabilidade decadal natural.

Sendo assim, além da preocupação com a magnitude do nível do rio e variabilidade decadal natural da vazão do rio Amazonas tem-se os eventos extremos, os fenômenos meteorológicos, como o El Niño, que influenciam no regime hidrológico de cheia e vazante.

Entre as catástrofes que atingem e oprimem um ecossistema, a escassez ou a falta de água potável é a que mais penaliza as populações humanas. E a fauna e a flora das regiões áridas e semiáridas sofrem com os déficits hídricos e com a distribuição irregular da vazão.

Recursos de água doce apresentam uma conexão fundamental entre a sociedade humana e funções ecossistêmicas. Sendo que dentro de bacias hidrográficas com os usos de água para as necessidades urbanas e agrícolas, manter as exigências de vazões ecológicas representa uma tensão não resolvida que está crescendo devido ao aumento das pressões populacionais e mudança climática global (KRUSCHE, 2015).

Recentemente, as mudanças climáticas têm sido observadas como possível causa de problemas que podem afetar a variabilidade e a disponibilidade na qualidade e quantidade da água. Mudanças nos extremos climáticos e hidrológicos têm sido observadas nos últimos cinquenta anos, e as projeções dos modelos climáticos apresentam um panorama sombrio em grandes áreas da região tropical (MARENGO, 2008). Nesse sentido, não apenas a variabilidade temporal do estoque de água é importante, mas também em que área da Amazônia essa flutuação acontece mais rapidamente, pois o conhecimento dessa informação pode indicar áreas mais potencialmente vulneráveis a estiagens prolongadas ou mesmo que sofreram impactos mais rápidos das cheias (GUEDES, 2010).

Estudos recentes indicam que as atuais tendências de mudanças climáticas possuem atuação direta na disponibilidade de água em ecossistemas de água doce, especialmente na Amazônia Oriental, modificando o padrão de escoamento hídrico pela intensificação de eventos extremos (CUNHA et al., 2011; CUNHA et al., 2013a; CUNHA et al., 2013b; CUNHA et al., 2014; DALLAS, 2014; WEISSENBARGER et al., 2010). Na primeira década do século XXI, os eventos climáticos extremos na Amazônia passaram a ser mais frequentes e a estiagem prolongada de 2005 é o marco inicial desse processo.

Além disso, segundo Cruz e Tucci (2008), do ponto de vista hidrológico, os anos de maior estiagem influenciam na curva de permanência das vazões de séries históricas, conjecturando que a estiagem ocorreu em todo o período observado, exigindo certo cuidado na interpretação da curva das vazões temporais.

No Brasil, a obrigatoriedade de manter uma vazão que permita a conservação e manutenção dos ecossistemas aquáticos está prevista na legislação (BRASIL, 1997). No entanto, os atuais estudos sobre a disponibilidade hídrica da bacia nos estados do Brasil em períodos de eventos extremos de inundações e secas nos ambientes aquáticos não levam em consideração as reais necessidades dos regimes dos rios.

O fenômeno El Niño pode ter consequências positivas e negativas, ao mesmo tempo. A diferente intensidade do El Niño e do fenômeno La Niña podem causar impactos na vazão observada em períodos de cheias e estiagens extremas no regime de um rio.

A partir da regularização da vazão natural dos rios para reduzir o impacto de situações extremas como meses de maior disponibilidade hídrica (cheias) e meses de menor disponibilidade hídrica (estiagens prolongadas), surgiu a questão de qual seria a vazão residual mínima que deveria ser mantida a jusante, de forma que não comprometesse os processos ecológicos (COLLISCHONN et al., 2005).

Segundo Silva (2010), o estabelecimento de um regime de vazões é uma das questões mais relevantes para o adequado gerenciamento ambiental de um curso d'água, pois envolve o tratamento de demandas geralmente conflitantes e está associado a um contexto de causas e efeitos que envolvem praticamente todo o ecossistema da região.

A questão - científica abordada na presente pesquisa – é se em anos de eventos climáticos extremos, a vazão mínima do rio Amazonas apresenta disponibilidade hídrica para a manutenção de seus ecossistemas?

A hipótese central a ser discutida nesta pesquisa, representando uma resposta para a questão abordada é: - “Durante os eventos climáticos extremos, o rio Amazonas apresenta disponibilidade hídrica para a manutenção de seus ecossistemas”.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Analisar o regime do rio Amazonas e a disponibilidade hídrica em anos de eventos climáticos extremos.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o regime do rio Amazonas e a variabilidade temporal dos dados da vazão fluvial;
- Analisar a variação do regime do rio Amazonas diante ao período de ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña;
- Determinar a vazão Q95% em diferentes escalas de tempo e a disponibilidade hídrica do rio Amazonas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O Ambiente Amazônico

O rio Amazonas possui um notável estuário na Plataforma Continental, onde a presença de grande quantidade de água foi evidenciada mesmo durante os períodos de descarga mínima do rio (SANTOS et al., 2008). Segundo Silva (2009) esta região de estuário do rio Amazonas, estende-se, aproximadamente, desde a cidade de Óbidos até o talude continental, considerando-se como limites superiores e inferiores do estuário aquele local até onde a maré é observada e a região em que é possível encontrar quantidades apreciáveis de água doce, respectivamente. É um ambiente extremamente energético, onde há a atuação de fenômenos físicos com características bem peculiares e que tem como principais forçantes a descarga fluvial e a maré, que tem sua influência que se estende até aproximadamente uns 800 km à montante da foz, onde ainda são observadas perturbações na linha d'água.

A região Amazônica é conhecida por sua grande disponibilidade hídrica, o que se dá por uma densa rede de drenagem entrecortando uma vasta região geográfica com rios, lagos e igarapés com grande variabilidade, tanto na extensão quanto na largura dos rios, bem como no volume de água por eles transportado (SILVA, 2009).

A região hidrográfica Amazônica, na forma como é tratada no Caderno da Região Hidrográfica da Amazônia com base no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), está inserida no quadrante definido pelas coordenadas: 05°20'N/48°20'W e 16°20'S/74°00'W, sendo que o rio Amazonas lança suas águas no Oceano Atlântico mais ou menos ao nível da linha do Equador, em aproximadamente 50°W de longitude. Ocupando uma área total de 6.925.674 km², desde as nascentes do rio Amazonas, nos Andes Peruanos, até sua foz, no Oceano Atlântico, a Região Hidrográfica Amazônica tem, no Brasil, 63,88% do seu território. Nos demais países que a compõem, a região tem respectivamente: 16.14% na Colômbia, 15.61% na Bolívia, 2.31% no Equador, 1.35% na Guiana, 0.60% no Peru e 0.11% na Venezuela de participação em sua área total (FILIZOLA et al., 2002).

As grandes e sazonais vazões do rio Amazonas (GALLO, 2004) e a propagação da maré no trecho fluvial Amazônico ocorrem na forma de uma onda progressiva com características semidiurnas e com a geração de outras componentes em decorrência de fatores como a geometria, os efeitos de águas rasas, o atrito no fundo e a vazão fluvial. As

características peculiares do rio Amazonas, principalmente no trecho inferior, fazem com que as marés tenham uma influência no curso do rio até além de Óbidos (DEFANT, 1960; KOSUTH et al., 1999).

A vazão líquida ingressando no estuário pode ser estimada a partir do somatório da vazão do rio Amazonas em Óbidos e do aportado pelos rios Tapajós e Xingu (afluentes principais à jusante de Óbidos). O regime hidrológico do rio Amazonas apresenta uma variação sazonal, com uma vazão média de, aproximadamente, $172 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ em Óbidos, máximos em junho na ordem de $278 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ e mínimos em novembro da ordem de $72 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA, 2009). A vazão média dos rios Tapajós e Xingu é de aproximadamente $11 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ e $9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, o que corresponde a aproximadamente 6,5 % e 5,3% em relação à vazão média em Óbidos (GABIOUX, 2002).

3.1.1 Variabilidade do regime hidrológico do Amazonas

Souza et al. (2009) descrevem que a região Amazônica apresenta variabilidade climática, em diversas escalas, que preocupam os estudiosos na tentativa de explicar coerentemente questões complexas.

A variabilidade do regime hidrológico do Amazonas está associada a padrões de variação da mesma escala de tempo nos oceanos Pacífico e Atlântico, como a variabilidade interanual associada a El Niño Oscilação Sul, ENOS, ou a variabilidade decadal do Pacífico (Pacific Decadal Oscillation - PDO), do Atlântico (North Atlantic Oscillation - NAO) e a variabilidade do Atlântico Tropical e do Atlântico Sul. No Sul do Brasil e no Norte da Argentina, tendências para aumento das chuvas e vazões de rios foram observadas desde meados do século XX, enquanto que na Amazônia, ainda que o desmatamento tenha aumentado gradativamente nos últimos vinte anos, não se detectaram tendências significativas para aumento das chuvas ou vazões nesta região (MARENGO, 2006).

O rio Amazonas aporta ao oceano Atlântico a maior vazão de água doce do mundo. Os rios Tapajós, Xingú e Tocantins têm um comportamento hidrológico similar, sendo as vazões médias comparáveis e as cheias produzidas nos mesmos períodos. Já, as vazões do rio Amazonas são maiores em uma ordem em magnitude, com as cheias atrasadas de um a dois meses respeito aos rios afluentes. Também o hidrograma do rio Amazonas mostra um único pico de cheia, na metade do ano (junho) e a estiagem no final (novembro), com modificações da ordem de $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ de um mês ao outro (GALLO, 2004).

3.2 Disponibilidade hídrica fluvial

Os conhecimentos prévios, do volume de demanda social, e dos regimes hidrológicos envolvidos proporcionam subsídios que fundamentam a tomada de decisões e ajudam num planejamento e manejo do uso racional dos recursos hídricos, permitindo adequar os fatores socioeconômicos aos ecológicos (VESTENA, 2012).

Em todo o século XX foram construídas inúmeras barragens e represas ao redor do mundo, com o objetivo de regularizar a vazão natural dos rios e assim reduzir o impacto de situações extremas como meses de maior disponibilidade hídrica (cheias) e meses de menor disponibilidade hídrica (estiagens prolongadas). Desse fato surgiu a questão de qual seria a vazão residual mínima que deveria ser mantida a jusante, de forma que não se comprometesse os processos ecológicos (COLLISCHONN et al., 2005).

Tem-se que valores mínimos de vazão observados ao longo do tempo possam servir aos estudos de vazão ecológica, haja vista que a bacia manteve-se com esses valores no passado, talvez ela possa continuar mantendo-se no presente e no futuro. Desde que, as ações antrópicas não exijam mais esforço hídrico da bacia (GOMES, 2011).

Dessa forma, um regime de vazões fornece maneiras de compreender a regulação dos processos para a redução dos impactos de extremos hidrológicos (inundações, secas) e melhoria da qualidade da água (ZALEWSKI et al., 1990).

A água é essencial para toda a vida e usada em muitas maneiras diferentes. O tema recurso de água doce merece atenção especial, principalmente em regiões em que a irregularidade espaço-temporal da distribuição das precipitações pluviométricas é uma realidade natural. Entre as catástrofes que atingem e oprimem um ecossistema, a escassez ou a falta de água potável é a que mais penaliza as populações humanas. A fauna e a flora das regiões áridas e semi-áridas sofrem com os déficits hídricos (BARRETO, 2015). No entanto, a escassez de água potável não é limitada apenas para as regiões de clima árido, mas em áreas com boa oferta ao seu acesso está se tornando problema crítico.

Essa falta de água é causada pela baixa capacidade de seu armazenamento, baixa infiltração, maiores flutuações interanuais e anuais de precipitação e alta taxa de evaporação demandada (SIVANAPPAN, 2006).

Recursos de água doce compreendem uma conexão fundamental entre a sociedade humana e as funções ecossistêmicas. Dentro de bacias hidrográficas com as necessidades

urbanas e agrícolas, mantendo exigências de caudais ecológicos representa uma tensão não resolvida que está crescendo devido ao aumento das pressões populacionais e mudança climática global. Embora ainda haja muito a entender sobre questões de mudanças globais e seus impactos sobre a segurança da água doce, há uma necessidade igualmente importante para melhorar estruturas relacionadas com a gestão dos recursos hídricos para garantir um fornecimento adequado entre os concorrentes, mas nem sempre igualmente válidas (em termos de segurança hídrica) demandas. É somente através do desenvolvimento e aplicação bem sucedida de estruturas de governança de água que consideram conexões montante / jusante, e as tendências e incertezas nos recursos de água doce devido a pressões locais e mudança global, que podemos melhorar a capacidade de adaptação dos sistemas sócio-ecológicos e à base de água serviços ecossistêmicos (KRUSCHE, 2015).

3.3 Relação entre o fenômeno de El Niño e o regime de vazão fluvial da bacia do rio Amazonas

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado por anomalias positivas ou negativas.

O mecanismo oceânico, El Niño (EN), segundo CPTEC (2001), é um fenômeno do sistema atmosfera-oceano, que provoca um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical Leste, mudando os padrões de vento a nível mundial da célula de Walker, e conseqüentemente os índices pluviométricos. Já o outro mecanismo oceânico, o fenômeno La Niña (LN), produz nas águas do Oceano Pacífico Leste um resfriamento anormal, intensificando os ventos alísios, e não os modificando.

Segundo Turner (2009), o ENOS é o maior fenômeno climático do planeta nas escalas temporais decadal e sub-decadal, com efeitos no tempo e clima muito além da região tropical do Oceano Pacífico, onde é bem marcado.

Conforme Gadelha (2011) vários estudos indicam a correlação linear entre índices climáticos e a precipitação na América do Sul, porém poucos se ocupam de estudar a associação com a vazão fluvial.

Estudos começam a correlacionar eventos de El Niño e alterações nos recursos hídricos a partir de métodos práticos de previsão hidrológica sazonal e concentram-se nos impactos do El Niño sobre os recursos hídricos na América do Sul e Central. Esses estudos

estão sendo realizados na Austrália, Costa Rica, Japão, América do Norte, Panamá, Tailândia e Vietnã. Um estudo tentou identificar uma relação entre El Niño e o fluxo dos rios na bacia do Rio Iguaçu, na Argentina. Tal informação pode ser importante para a gestão das hidrelétricas do rio Iguaçu (GLANTZ, 1998).

Conforme Glantz (1998) nem todas as anomalias do tempo em todo o mundo, que ocorre durante um ano de El Niño é causada pelo próprio El Niño. Por exemplo, as inundações no Centro Oeste dos Estados Unidos da América durante 1993 foram atribuídos, nesse ano, ao fenômeno El Niño, mesmo que a evidência para esta conclusão tenha sido muito fraca. Por outro lado, a evidência fez apoiar a conclusão de que a grave seca na mesma região, no verão de 1988, foi causada por La Niña. Eventos climáticos extremos recordes estão ocorrendo em todo o mundo, mesmo em anos sem a presença averiguada do fenômeno. Apenas algumas partes do globo são diretamente influenciadas e até mesmo essas áreas não são influenciadas da mesma forma por cada El Niño. O impacto do aquecimento global sobre El Niño ainda não é conhecido, embora existam centenas de estudos sobre os possíveis efeitos do aquecimento global sobre o ciclo hidrológico global e que esses efeitos podem significar para os ciclos hidrológicos regionais e locais. Alguns pesquisadores sugerem que as áreas secas se tornarão mais secas com o aquecimento global e áreas molhadas mais úmidas, outros sugeriram o contrário (GLANTZ, 1998).

Foley et al. (2002) comentam que em períodos de El Niño ocorre uma tendência à diminuição de chuva na Amazônia do Norte e, conseqüentemente redução na vazão dos rios nesta região. Nos casos dos anos de La Niña ocorrem os efeitos opostos, e são identificados aumentos na precipitação e, conseqüentemente, aumento nas vazões dos rios da bacia Amazônica.

Ressalta-se que, segundo Callède et al. (2002), o rio Amazonas apresenta grande regularidade no regime hidrológico anual. Contudo quando se trata da sazonalidade essa normalidade muda, pois o regime de chuvas na bacia Amazônica é diferente nos afluentes da margem esquerda e da margem direita devido posicionamento de um cinturão de nuvens convectivas, onde se destacam as do tipo cúmulos (nebulosidade) estabelecida por uma determinada escala de tempo, associada à incidência da energia solar na área, a gravidade e a rotação da terra (que dependendo das estações do ano se intensifica). A margem esquerda é influenciada, principalmente, pelo deslocamento desta nebulosidade, originada pela mistura convergente dos ventos alísios em baixo nível entre células de alta pressão, na chamada Zona

de Convergência Intertropical (ZCIT) e a margem direita pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema de grande escala (sinótico) que ocorre nas proximidades da linha do equador, conforme Ferreira (1996). Na região onde a ZCIT age, existem aglomerados convectivos, que afetam os índices pluviométricos da região tropical na época chuvosa, de acordo com Molion e Bernardo (2002).

Estudos, como Souza (2005) e Gu e Adler (2009) mostram que o posicionamento latitudinal da ZCIT é afetado por anomalias da TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico tropicais.

Enquanto que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) se forma nas áreas cobertas pela floresta Amazônica a partir da convergência da umidade do Oceano Atlântico com a evapotranspiração da floresta local. Assim o encontro desses dois tipos de umidade forma nebulosidade que se direciona para o Atlântico Sul, pois se deslocam de Noroeste para Sudeste, trazendo muita chuva para o Sudeste e para o Centro-Oeste, influenciando também os afluentes da margem direita do rio Amazonas.

Esses sistemas meteorológicos são intensificados pelos mecanismos oceânicos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico e gradiente do Atlântico.

Um dos cenários do IPCC (SRESA1B), analisados por Guimberteau et al. (2013), para o meio do século, nenhuma mudança foi detectada no fluxo da calha principal do rio Amazonas, na estação de Óbidos, porém na época seca ocorreu uma diminuição de descarga em 10%, contudo isso não ocorreu em toda a bacia. Na parte superior ocidental da bacia a precipitação foi elevada em 7% no meio do século 21 e em 12% no final do século. Contudo a precipitação diminuiu nas estações secas, na parte sul, leste e norte da bacia, diminuindo ainda mais no Rio Xingu, onde atingiu 50%, associado a uma redução de 9% no coeficiente de escoamento e de 18% na vazão. Assim os autores concluíram, através dessas simulações, que as variações de vazão e precipitação indicam que as sub-bacias do sul, que têm coeficientes de escoamento baixos, se tornarão mais sensíveis às mudanças de precipitação (com um aumento de 5 à 35%) do que as sub-bacias ocidentais, enfrentando alto coeficiente de escoamento superficial e nenhuma mudança na vazão e precipitação.

O sistema do rio Amazonas, conforme Costa (2009) tem uma estação longa de grandes inundações que é uma parte importante da hidrologia e ecologia da bacia. Nas regiões

mais baixas, os lentos aumento e diminuição anuais do Amazonas permitiram que a flora e fauna da planície de inundação se adaptassem ao pulso de inundação (JUNK e SPARKS, 1989). A maioria das espécies migratórias de peixes comercialmente importantes, por exemplo, alimenta-se de frutas e sementes encontradas nesse período e as migrações para reprodução e busca de alimento estão estreitamente associadas ao pulso anual de inundação (ARAÚJO-LIMA e GOULDING, 1997). A área total inundada de cada estação está, de fato, diretamente relacionada à magnitude da onda de vazão da inundação. Em uma das primeiras observações em grande escala da onda de vazão da inundação do Amazonas, Richey et al. (1989) usaram dados de vazão do principal rio e maiores tributários do Amazonas para mostrar que a longa (~ 9 meses) onda de vazão de inundação ocorre em função da escala da bacia e seu clima. A bacia de drenagem muito grande e o clima tropical resultam em uma fase de 3 meses de retardo na precipitação e vazão entre os tributários que drenam o norte e sul. Os efeitos combinados da fase de retardo da precipitação e o atraso do transporte superficial faz com que aconteça o pico da vazão em junho.

A análise de Zeng (1999) de um registro de oito anos de vazão do Amazonas em Óbidos e do Xingu (tributário ao sul) encontrou uma correlação significativa de escoamento fluvial com o ENOS, com retardo de sete meses, o que corrobora resultados de Marengo a partir de diferentes tributários. O autor atribui o atraso de sete meses a um retardo de três meses na correlação da precipitação com o ENOS, e à influência da drenagem da água do solo na regulação do tempo da vazão. A vazão não se correlaciona de modo significativo com a evapotranspiração (ET) simulada, o que indica que a variabilidade na vazão interanual é mais fortemente influenciada pela variabilidade da precipitação interanual, e não pela temperatura e ET.

3.4 Legislação no Brasil sobre a vazão de referência

Em geral a fixação de vazões ecológicas no Brasil, tem sido feita principalmente através da legislação estadual e federal, principalmente para uso nos procedimentos administrativo de licenciamento ambiental e concessão de outorga do uso da água (GOMES, 2011).

Até pouco tempo atrás, não existia no Brasil recomendação ou legislação específica, em âmbito federal, para a determinação da vazão ecológica, cabendo aos estados estabelecer ou recomendar a metodologia para a sua determinação. A Lei 9.433/97, que institui a política nacional de recursos hídricos e cria o sistema nacional de recursos hídricos, deu-se um passo importante para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. A partir desse marco, os estados começaram a se preocupar mais com os recursos hídricos e com isso criaram suas leis estaduais (atualmente 25 estados e mais o Distrito Federal possuem lei estadual) (FARIAS JUNIOR, 2006).

A determinação das águas como sendo de domínio apenas público gerou a necessidade da utilização de uma forma de autorização do Estado para uso desses recursos hídricos por terceiros. Essa forma de autorização é apresentada na Lei Federal nº 9.433 por meio do instrumento de outorga de direito de uso de recursos hídricos. A outorga é o instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos que tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água sem comprometer a vazão ecológica do ecossistema natural da flora e fauna aquática existente no corpo hídrico (BRASIL, 2005).

Segundo a referida Lei, os usos de recursos hídricos sujeitos a outorga são os seguintes:

- I - Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II - Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III - Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduo líquido ou gasoso, tratado ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV - Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V - Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Da mesma forma são estabelecidos os usos de recursos hídricos que independem da outorga, a ser definido em regulamento, sendo eles:

- I - O uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
- II - As derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
- III - As acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

No caso das outorgas para usos de recursos hídricos com a finalidade de aproveitamentos hidrelétricos, estão subordinadas a este Plano Nacional de Recursos Hídricos, a ser aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e devem obedecer à legislação setorial específica (BRASIL, 2005).

Percebendo a falta de um critério para determinação da vazão ecológica na Lei, os estados estabeleceram recomendações, através de leis ou decretos complementares, para o cálculo da mesma. As metodologias recomendadas pelos estados no norte e nordeste brasileiro são as baseadas em curvas de permanências (FARIAS JUNIOR, 2006).

Analisando os critérios para os pedidos de outorga utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos, pode ser verificada uma grande diversidade de vazões de referência adotadas, bem como percentuais considerados outorgáveis. Para captações superficiais, os critérios adotados para outorga são aqueles apresentados na Tabela 01. A maior parte dos órgãos gestores de recursos hídricos que emitem outorgas possui esses critérios aprovados em legislação ou está em discussão para aprovação (BRASIL, 2005).

Tabela 01 - Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais.

Região	Estado	Órgão gestor	Vazão de referência	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável
Norte	AP		Não há	Não há	Não há
	AC		Não há	Não há	Não há
	RO		Não há	Não há	Não há
	RR		Não há	Não há	Não há
	AM		Não há	Não há	Não há
	PA		Não há	Não há	Não há
	TO		Q90	75% Q90 (fio de água) 90% Q90 (captação em reservatórios) 95% Q90 (para rios intermitentes) 25% Q90 (usuário único)	Decreto nº 2.432/05 (NATURATINS)
Nordeste	SE		Q90	30% Q90	Resolução 01/01 do CONERH
	AL		Q90	90% Q90	Decreto 006/01
	BA	SRH-BA		80% da Q90 20% para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/97
	CE	SRH-CE		90% da Q _{90Reg}	Decreto Estadual nº 23.067/94
	MA		Não há	Não há	Não há
	PB	AAGISA-PB		90% da Q _{90Reg} . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual 19.260/1997
	PE	SECTMA-PE		Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica
	PI	SEMAR-PI		80% da Q ₉₅ (Rios) e 80% da Q _{90Reg} (Açudes)	Não existe legislação específica
	RN	SERHID-RN		90% da Q _{90Reg}	Decreto Estadual Nº 13.283/97

Fonte: Adaptado Farias Junior (2006).

Apesar da existência de recomendações por parte dos estados, as mesmas não foram concebidas de maneira coerente, onde se deveriam avaliar aspectos importantes para manutenção do ecossistema existente, como a interferência das ações antrópicas na fauna e flora aquática (FARIAS JUNIOR, 2006).

4 MATERIAIS E MÉTODO

4.1 Dados de vazão

Esse trabalho abrangeu a área da bacia do rio Amazonas em Óbidos, utilizando dados de vazão da Agência Nacional de Águas entre os anos de 1970 a 2013. A metodologia utilizada será descrita detalhadamente nas sessões seguintes.

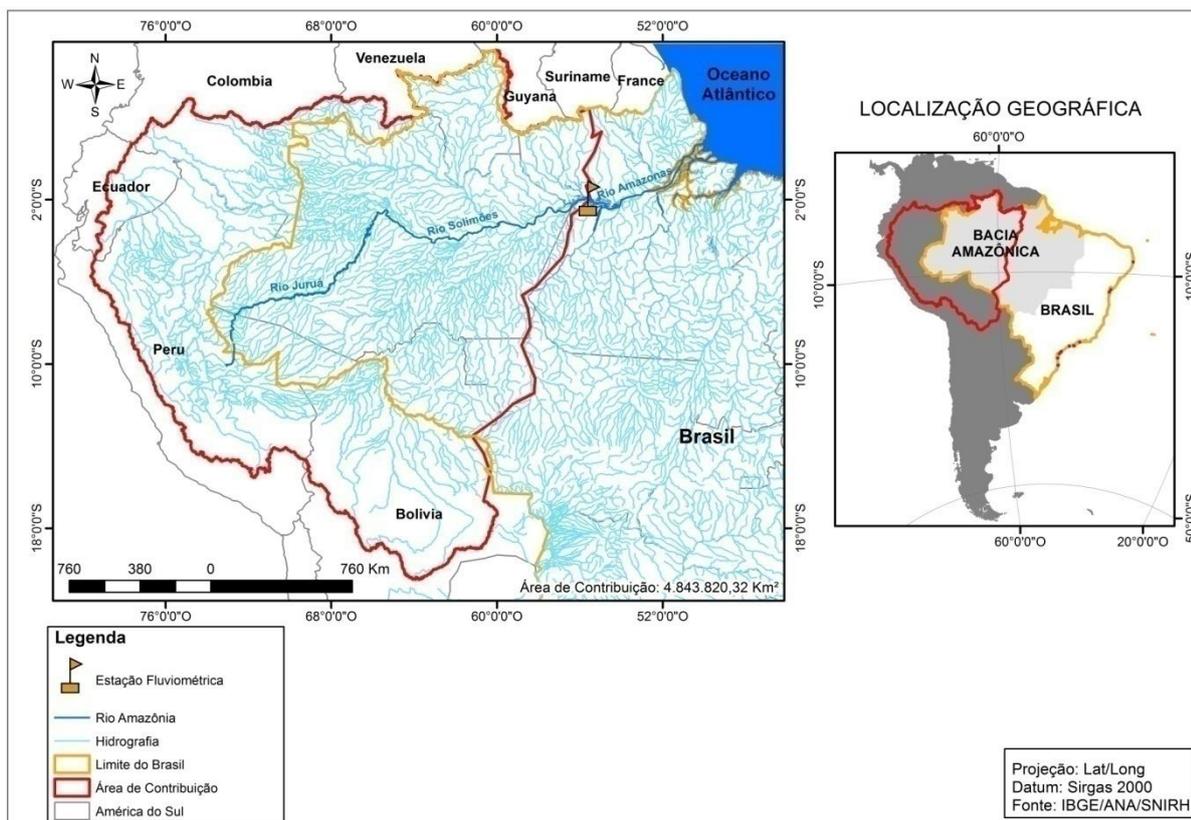
A Região Amazônica possui uma grande extensão, entretanto as estações de medidas de vazão próximas a sua foz são escassas, e por isso optou-se pela estação fluviométrica de Óbidos (17050001), por ser a estação mais próxima da foz com uma série temporal de dados bastante longa e com pouca falha, facilitando a determinação do comportamento hidrológico da bacia do rio Amazonas.

Assim, a estação fluviométrica para medida de descargas do rio Amazonas, mais a jusante, é a de Óbidos no estado do Pará (Figura 01). Nessa estação, a influência da maré do Oceano Atlântico pode ser considerada como negligenciável no momento (trabalhos de pesquisas em curso).

Portanto, a análise do regime hidrológico e da disponibilidade hídrica da bacia do rio Amazonas será feita utilizando dados mensais de vazão fluvial (em m^3/s) da estação fluviométrica de Óbidos da ANA no período de 1970 a 2013, totalizando 44 anos de dados. Haja vista que, segundo Sampaio (2012), do ponto de vista hidrológico, Óbidos controla 80% do total da vazão do Amazonas na foz, através de sua estação hidrológica instalada no início do século XX e a superfície da bacia hidrográfica é de $4.680.000 \text{ km}^2$ (superfície global da bacia: $6.100.000 \text{ km}^2$). Portanto, essa estação mede as maiores descargas do mundo (CALLÈDE et al., 1996).

No processo de análise e consistência de dados de vazão, o tratamento das falhas foi efetuado o preenchimento através de procedimento estatístico (inserindo linha de tendência à relação dispersa dos dados amostrais da variável vazão), adotando-se o maior coeficiente de correlação R^2 , como modelo explicativo que melhor indica correlação linear positiva.

Figura 01 – Área de contribuição da estação fluviométrica de Óbidos detalhando a seção de medições de descarga.



Fonte: Do autor.

Outro material utilizado nesse estudo foi o histórico de eventos climáticos extremos, El Niño e La Niña, que afetaram a Bacia Amazônica Brasileira, no período de 1970 a 2013, conforme mostrado na Tabela 02.

Tabela 02 - Períodos de ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña no período de 1970-2013.

EL NIÑO			LA NIÑA		
FRACO	MODERADO	FORTE	FRACO	MODERADO	FORTE
1976-1977	1968-1970	1972-1973	1983-1984	1970-1971	1973-1976
1977-1978	1986-1988	1982-1983	1984-1985	1998-1999	1988-1989
1979-1980	1991-1992	1997-1998	1995-1996	2007-2008	1999-2000
2004-2005	1994-1995		2000-2001		2010-2011
2006-2007	2002-2003		2005-2006		
	2009-2010		2008-2009		
			2011-2012		

Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2017).

4.2 Método

Os métodos utilizados podem ser apresentados nas seguintes etapas:

Etapa 1: Análise do regime hidrológico do rio Amazonas e a variabilidade anual e interanual da vazão.

A análise do regime hidrológico anual ocorreu através da média (equação 1) dos totais anuais e mensais de vazões observadas na estação hidrológica de Óbidos no período de janeiro/1970 a dezembro/2013.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i) \quad (1)$$

Onde,

N – número de dados utilizados.

O regime hidrológico normal anual do rio Amazonas foi analisado através de uma faixa de desvio padrão amostral (equação 2) positivo e negativo a partir da média das vazões observadas. Além disso, os picos dos dados de vazão dentro da série histórica ocorreram pelos valores de máximos e mínimos absolutos de vazões ao longo deste tempo especificado.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(N-1)}} \quad \therefore \delta_{\text{MÊS1}} = |Q_{\text{MédMês1}} - Q_{\text{MédMês1}}| / N \quad (2)$$

Onde,

\bar{x} – média aritmética dos dados;

N – número de dados utilizados;

x_i – dados observados no tempo, de 1 a N .

σ – desvio padrão.

A análise do regime hidrológico interanual ocorreu através de uma faixa de desvio padrão amostral (equação 2) positivo e negativo a partir da média anual das vazões mínimas observadas de 1970 a 2013.

Além disso, foi analisado individualmente, a amplitude ocorrida entre a mínima e a máxima vazão ocorrida em cada um dos 44 anos.

A análise da variação do regime hidrológico diante aos eventos de cheias e vazantes extremas ocorreu através da aplicação da equação 3 das vazões anuais ajustadas, para identificar os valores de vazão no período de vazante e de cheia, variando de -1 a 1, onde os valores negativos e o zero referem-se aos eventos de vazante e os valores positivos aos eventos de cheia.

$$Q_n = Q_i - \bar{x} \quad (3)$$

Onde,

Q_n – vazão normalizada;

Q_i – vazão anual observada;

\bar{x} – média aritmética das vazões observadas.

Devido os eventos climáticos extremos passar a ser mais frequentes na Amazônia, desde a estiagem prolongada de 2005, para este trabalho, buscou-se estudar a variabilidade de vazão dos corpos hídricos nesta região somente a partir dos fenômenos de El Niño ou La Niña ao longo da série histórica, identificados e analisados por meio da Tabela 02 de ocorrências dos fenômenos de El Niño e La Niña, que ilustra suas intensidades, disponibilizada no portal do CPTEC (<http://enos.cptec.inpe.br/>).

Etapa 2: Determinar a disponibilidade hídrica do rio Amazonas.

a) Método dos Percentis (especificamente a ordem quantílica Q95%)

A partir da vazão pelo método dos Percentis (ordem quantílica Q95%) adotada pela ANA para regiões hidrográficas do Brasil em rios sem regularização, este trabalho buscou estudar a disponibilidade hídrica do rio Amazonas.

A disponibilidade hídrica do rio Amazonas foi determinada a partir da comparação da vazão utilizada pela ANA, a Q95%, tanto para as séries históricas de vazões dos anos (análise interanual) quanto para as séries históricas de vazões mensais dos anos da série (análise anual).

Para determinação do regime de vazões disponíveis neste estudo foi utilizada a análise dos valores de vazão mínima por representar os períodos mais críticos e por possibilitar uma sazonalidade similar ao regime hidrológico natural de um rio.

Sendo utilizada para a estação fluviométrica analisada, a metodologia de Tucci que consiste em estabelecer “ n ” intervalos de classe de acordo com a magnitude. O gráfico permite visualizar rapidamente a disponibilidade hídrica de um curso d’água e assim obter as frequências “ f ” em que ocorrem determinadas vazões, a partir da contagem do número de vazões em cada intervalo, conforme sequência a seguir:

- I. Ordenamento dos valores mensais de vazão (de 1970 a 2013) em ordem crescente;
- II. A cada valor ordenado associou-se um valor “*m*” a posição de plotagem, que equivale a ordem de excedência;
- III. Em paralelo foi definido um valor que representa a porcentagem de um determinado valor de vazão, dado por $m/(n+1)$, sendo “*n*” o total dos dados de vazão utilizados;
- IV. Com os dados organizados na forma de uma curva de permanência calculou-se a média aritmética da série e o $Q_{95\%}$ (adotado como referência a partir da utilização, em boa parte das concessões de outorgas, pela Agência Nacional de Águas).

b) Análise da disponibilidade hídrica e da vazão Q95%

Como o objetivo é estudar o rio Amazonas em períodos críticos de oferta d’água, a análise da disponibilidade hídrica foi possível a partir da inserção da curva das vazões Q95% mensais sobre os dados de vazões mínimas absolutas para cada ano da série observada.

Para identificar os anos em que o rio Amazonas apresentou períodos de menor oferta hídrica, onde são considerados períodos críticos, as descargas muito abaixo da vazão recomendada em lei para esta série temporal a ser mantida em seu leito para o bom funcionamento do ecossistema aquático amazônico.

Para determinação da disponibilidade hídrica (DH_{ti}) do rio Amazonas para cada mês ou no ano, utiliza-se a equação:

$$DH_{ti} = Q_{ti} - Q_{95\%} \quad (4)$$

Onde,

Q_{ti} – observações de cada mês ou a observação anual

A disponibilidade hídrica por um determinado período de tempo deve ser entendida como a diferença entre vazão observada, que para este trabalho será aquela disponível no mês e a vazão de referência Q95%, como mostrado na equação.

Este trabalho estudou a vazão mínima tanto para os anos de 1970 a 2013, como também as vazões mínimas para os meses de janeiro até dezembro de cada ano desta série, devido às flutuações do rio Amazonas entre os meses de cada ano da série.

Assim, buscou-se regularizar as vazões mínimas mensais a partir da vazão utilizada pela ANA, a Q95%, e desta forma regularizar as vazões mínimas remanescentes em cada mês de um possível ano com déficit de água.

A análise da disponibilidade hídrica mensal ocorreu através da aplicação da equação 3 pela diferença da vazão observada do regime hidrológico diante a vazão Q95% de cada mês, para identificar os anos de menor oferta de água, onde os anos com valores positivos referem-se as vazões mínimas de cada ano deste rio a serem superadas em 95% do tempo da série histórica, os valores negativos ou igualadas (zero) referem-se a vazão mínima observada com risco de não acontecer em 5% do tempo naquele ano, onde a descarga do rio fica abaixo do valor mínimo necessário para a manutenção do meio biótico e recomendado em lei.

Se a disponibilidade hídrica for positiva, isso significa que pode haver aproveitamento adequado de seus recursos hídricos. Todavia, caso a disponibilidade hídrica seja negativa, o aproveitamento pode ser comprometido nesse período.

A análise da oferta hídrica interanual ocorreu através da inserção da curva de Q95% de cada ano da série sobre as vazões mínimas observadas, para identificar os anos de menor oferta de água, onde os anos com valores positivos referem-se as vazões mínimas de cada ano deste rio a serem superadas em 95% do tempo da série histórica, os valores negativos ou igualadas (zero) referem-se a vazão mínima observada com risco de não acontecer em 5% do tempo naquele ano, onde a descarga do rio fica abaixo do valor mínimo necessário para a manutenção do meio biótico e recomendado em lei.

Logo em seguida levará em consideração a influência de um evento extremo sobre a diminuição da vazão através do valor da Q95%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Comportamento da componente vazão do rio Amazonas no tempo

5.1.1 Regime hidrológico anual

A Figura 02 apresentou um período de cheia nos meses de abril a julho. Sendo que foi no mês de junho que a vazão alcançou pico máximo entorno de 239.000 m³/s conforme observado, também, na Tabela 03.

Enquanto que os meses de setembro a dezembro apresentaram característica de vazante, com a vazão média alcançando valor mínimo de 105.000 m³/s em novembro. Tal expressiva variabilidade de amplitude entre picos de máximo e mínimo, entorno de 134.000 m³/s, apresentou-se como a característica do comportamento da vazão média do rio Amazonas que compõe a sazonalidade do regime hidrológico no período analisado. Callède et al (2002) encontrou, na amplitude mínima da vazão afluente dos tributários da parte sul e o pico de descarga em Óbidos, a vazão média anual de 163.000 m³/s. Ao analisar a variabilidade encontrada neste trabalho pode-se notar a existência de uma diminuição da amplitude do rio Amazonas em escala sazonal.

Observa-se ainda na Figura 02 que no mês de setembro há um comportamento de transição decrescente, não característico, entre vazão sazonal máxima e vazão sazonal mínima, com início no mês de julho. Guedes (2010) identificou semelhante sazonalidade no ciclo hidrológico em Óbidos ao longo de 104 anos (1903-2007). Em seu estudo observou que as cheias ocorrem nos meses de maio e junho com de 97% de chance de ocorrer nesse período, e as vazantes com 86% de chance de ocorrerem entre outubro e novembro.

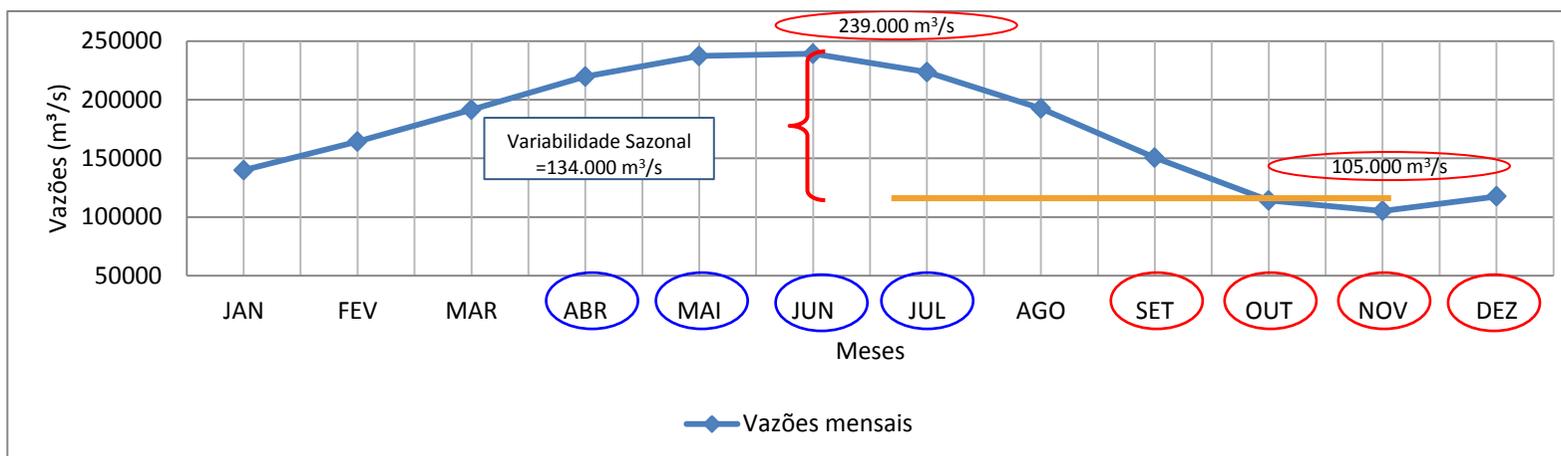
Além disso, os picos de máximas e de mínimas vazões, mostrados na Figura 02, assemelham-se com os estudos de 31 anos (1982-2012) de Coutinho (2016), onde na estação de Óbidos aparecem as maiores vazões da bacia Amazônica. O resultado desse autor mostrou uma vazão de 95.000 m³/s para o período de mínimo. Logo, subestimando o encontrado neste estudo, de 105.000 m³/s. Entretanto, a vazão apresentada, pelo mesmo autor, de 260.000 m³/s para o período de máximo, superestimou a vazão encontrada neste trabalho, de apenas 239.000 m³/s.

Tabela 03 – Vazões médias do rio Amazonas (m³/s).

CÓDIGO	ÁREA DE SUPERFÍCIE (Km ²)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
17050001	4.680.000	139922	164258	191390	219631	237199	239104	223552	192542	150612	114164	105187	117541

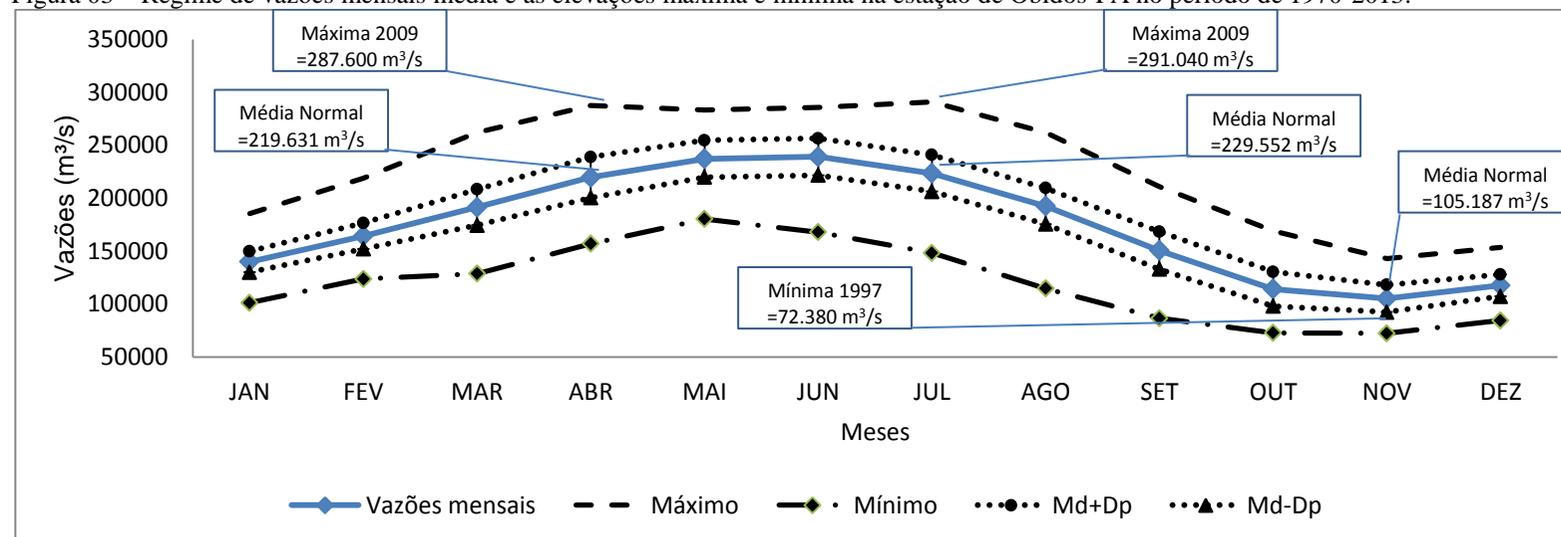
Fonte: Do autor.

Figura 02 – Regime de vazões mensais média na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.



Fonte: Do autor.

Figura 03 – Regime de vazões mensais média e as elevações máxima e mínima na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.



Fonte: Do autor.

Já estudos como o de Gallo (2004) mostraram que as vazões mínimas ocorriam em setembro na ordem de $120.000 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, maior que a vazão mínima encontrada neste trabalho e mais antecipada em sua ocorrência.

Ambas as divergências pode ser devido a periodicidade diferente nas análises das séries temporais de dados de vazões médias mensais utilizados. Todavia, o estudo mostra que a série utilizada neste trabalho apresentou comportamento similar às séries observadas em outros trabalhos.

A Figura 02 mostrou que o rio Amazonas apresenta uma vazão média anual de $174.592 \text{ m}^3/\text{s}$. Enquanto que a vazão total média dos rios para todo o território brasileiro é estimado em $179.000 \text{ m}^3/\text{s}$ conforme a ANA (2007b).

O comportamento natural das vazões máximas e mínimas absolutas que compõem a faixa de oscilação hidrológica da bacia do rio Amazonas foi observado na Figura 03 juntamente com as relações entre as vazões médias e o desvio padrão positivo e negativo do regime em cada mês.

Ao analisar os valores de máximas absolutas mensais percebeu-se dois picos máximos de vazões, um em abril com valor de $287.600 \text{ m}^3/\text{s}$ e outro em julho com valor de $291.040 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo que estas grandes variabilidades de vazão acima da normalidade do rio Amazonas ocorreram no ano de 2009.

Enquanto que ao analisar os valores de mínimo absolutos, o mês de novembro apresentou uma vazão mínima de $72.380 \text{ m}^3/\text{s}$ (observado no ano de 1997).

A partir desta expressiva variabilidade hidrológica positiva nos meses de um mesmo período hidrológico, pode-se afirmar que a bacia Amazônica, durante a sazonalidade do ano de 2009, apresentou grande parte do total da vazão na época cheia em relação ao total da vazão na época seca.

Ao analisar a variabilidade da vazão do rio Amazonas no mesmo mês, verifica-se que houve um forte aumento da vazão no mês de abril, onde a variabilidade hidrológica, neste mês, chegou a $67.969 \text{ m}^3/\text{s}$ acima da média do regime normal do rio. No mês de julho, a vazão variou $67.487 \text{ m}^3/\text{s}$ acima da média do regime normal do rio. Enquanto que no mês de novembro, a vazão variou apenas $32.807 \text{ m}^3/\text{s}$ abaixo da média do regime normal do rio.

Os resultados mostram diferentes regimes com grande variabilidade das vazões ao longo do tempo para a bacia Amazônica em função de sua densa e extensa área hidrográfica.

5.1.2 Variação interanual do regime hidrológico

A Figura 04 apresenta as vazões mínimas anuais do rio Amazonas no período de 1970-2013, juntamente com a vazão média do período total, a $(\bar{x} + \sigma)$ - ponto de início de cheia e a $(\bar{x} - \sigma)$ - ponto de início de seca, onde observou-se que o tempo influenciou na vazão média encontrada de 98.723 m³/s entre os 44 anos da série histórica com variabilidade de intensas proporções.

A região Amazônica é conhecida por sua grande disponibilidade hídrica. No entanto, o trabalho em escala temporal mostrou que houve desvios acentuados na curva no período de vazante do regime hidrológico em 9 (nove) anos da série histórica. Com as maiores flutuações iniciando somente a partir do ano de 1983 e alcançando a ordem de até 72.380 m³/s (como ocorrido no ano 1997).

Enquanto, no período de cheia da bacia Amazônica, a vazão alcançou valores superior a vazão média em apenas 7 (sete) anos da série (Figura 04). Com as grandes vazões variando entre os anos neste regime e alcançando até a ordem de 131.620 m³/s (como em 1974).

Os anos encontrados de regime de cheia superior a vazão média foram 1973, 1974, 1977, 1978, 1985, 1986 e 1989. Sendo que destes anos o menor valor de vazão registrado na estação foi no ano de 1978, com o valor de 115.300 m³/s.

Por outro lado, foram observadas 9 (nove) anos de vazões muito abaixo da média, com a característica de estarem próximos um do outro no final do período chegando a valores de 86.660 m³/s (1983), 83.520 m³/s (1990), 82.600 m³/s (1991), 74.580 m³/s (1995), 72.380 m³/s (1997), 75.040 m³/s (1998), 72.800 m³/s (2005), 77.120 m³/s (2010) e 84.160 m³/s (2012). Incluindo o ano de 2009, que na Figura 03 apresentou picos de vazões máximas.

Sendo que destes anos a maior vazão registrada na estação foi no ano de 1983, com o valor de 86.660 m³/s.

Nos anos de 1991 e 1998 as vazões muito abaixo da média podem ter ocorrido devido nestes mesmos anos ter ocorrido grandes secas que afetaram a Amazônia, detectados nos estudos de Marengo (2006), afetando as vazões da estação de Óbidos, ficando muito abaixo da média.

A baixa vazão encontrada no ano de 2005 coincidiu com a ocorrência de um tipo de anomalia climática que secou o Oeste e o Sul, e não o Centro e o Leste amazônico, como nos anos de El Niño. Segundo Marengo e Silva (2006) em 2005, a seca nos rios da Amazônia

causou danos a espécies de mamíferos aquáticos e peixes. Após essa forte seca, desde janeiro de 2006, na região ocorreu uma forte enchente (MARENGO e SILVA, 2006).

A Figura 04 mostra também uma sequência de anos de vazão baixa no período de 1980–1990. E um crescimento dos valores de vazão em Óbidos a partir de 2002. Esse aumento dos valores de vazão indica que a regulação do fluxo teve influência maior na elevação das vazões mínimas de que sobre a diminuição das vazões máximas.

No final do período analisado, a partir de 1989, houve um aumento sazonal em relação à amplitude média da vazão de $87.727 \text{ m}^3/\text{s}$, que variou de $54.903 \text{ m}^3/\text{s}$ (em 1992) a $122.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (em 2009), devido a fortes níveis mínimos registrados (Figura 05), corroborando com os estudos de Marengo (2006) que não detectou tendências significativas para aumento vazões desde meados do século XX na Amazônia.

A Figura 05 mostra que em 1992 a amplitude sazonal da vazão do rio Amazonas obteve grande diminuição, chegando a $54.903 \text{ m}^3/\text{s}$. Além disso, mostra que a amplitude sazonal variou de $54.000 \text{ m}^3/\text{s}$ a $122.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Em Óbidos, a amplitude obteve maior variabilidade a partir do desvio ($16.572 \text{ m}^3/\text{s}$) nos anos de 1997, 1999, 2006, 2009 e 2012. Enquanto que as menores variabilidades da amplitude ocorreram em 1973, 1977, 1980, 1983, 1985, 1986, 1992 e 2004.

5.1.3 Variação do regime hidrológico diante aos eventos extremos

Após a análise da variabilidade do regime hidrológico da bacia Amazônica brasileira, pôde-se verificar que o tempo contribuiu na persistência das baixas vazões em escala de bacia. Onde foi registrada vazão alcançando valor de até $72.380 \text{ m}^3/\text{s}$.

O estudo da variabilidade do regime hidrológico diante aos eventos extremos ocorreu a partir da Tabela 02 que ilustra a intensidade do El Niño e La Niña, disponibilizada pelo CPTEC, mostrando os anos em que estes fenômenos modularam a intensificação de eventos climáticos extremos sobre a bacia Amazônica, no período de 1970 a 2013 e consequentemente o comportamento das vazões nos regimes de vazante e de cheia.

Após a análise individual de cada um dos anos, pôde-se verificar a ocorrência, nestes anos, de anomalias de TSM negativas e positivas diferenciadas na bacia Amazônica.

A Figura 06 apresenta a vazão normalizada na bacia do rio Amazonas, mostrando que os maiores eventos extremos positivos ocorreram na década de 80, coincidindo com anos de La Niña de 1985, 1988 e 1989, já os maiores eventos negativos foram presentes na década de 90 e no ano de 2010.

Os anos de 1990, 1991, 1992, 1995, 1997, 1998, 2005 e 2010 foram anos com acentuados desvios extremos negativos da vazão no regime hidrológico, conforme Figura 06. O ano de 1995 apresentou evento negativo extremo e o de 2010, evento negativo muito extremo, ou seja, uma seca severa, concordando com os estudos de Marengo et al. (2008) e Espinoza et al. (2011).

Enquanto que a Figura 06 mostra os anos de 1973, 1974, 1985 e 1989 com acentuados desvios extremos positivos da vazão no regime hidrológico. Conforme a Tabela 02 disponibilizada no portal do CPTEC em 1973, 1974, 1985 e 1989 foram anos de ocorrência de La Niña. Assim, para este caso, pode-se afirmar que esta expressiva variabilidade hidrológica positiva pode ser caracterizada como efeito do fenômeno.

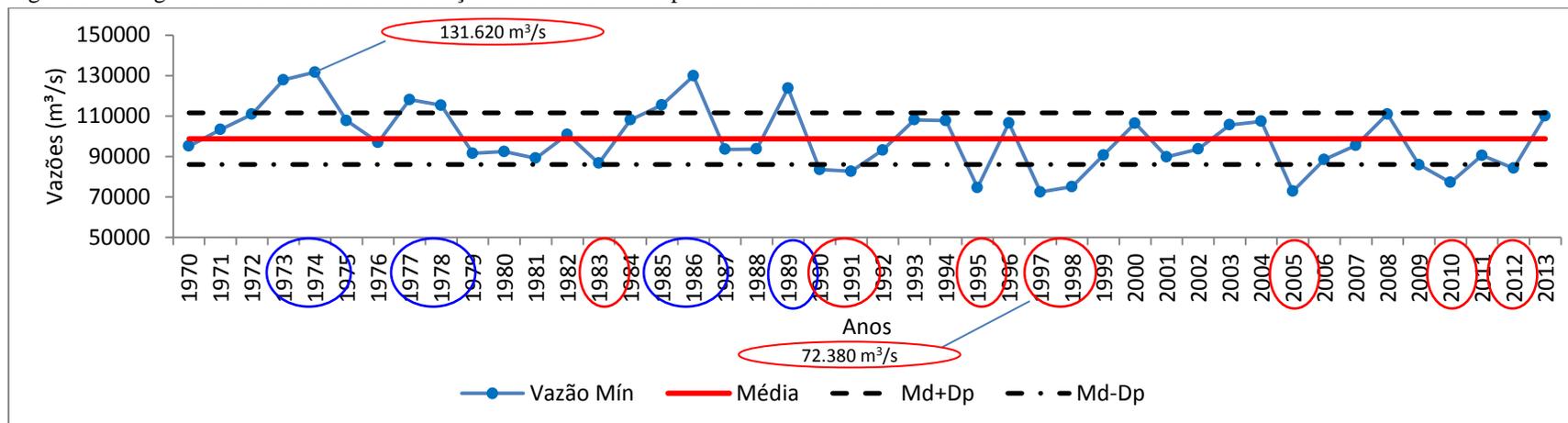
Ressalta-se que embora não tenha influenciado na vazão normalizada apresentada na Figura 06, o ano de 2009, para a bacia Amazônica, foi ano de cheia atípica do ponto de vista hidro-climatológico. Eventos atípicos como o de 2009 não são comuns, mas já ocorreram na região Amazônica. Estudos sobre tais eventos são mais comuns em condições de forte seca.

Eventos como a seca de 2005 apresentaram também suas peculiaridades do ponto de vista climatológico. A seca de 2005 caracterizou-se por apresentar uma baixa vazão, ocorrida não devido ausência de El Niño, mas pelo fato das águas do oceano Atlântico Norte estarem anormalmente quentes (MARENGO et al., 2008; ZENG et al., 2008).

O que se percebe é que eventos extremos ocorridos nos regimes de cheias e vazantes, sobre a região Amazônica, podem influenciar de maneira diferente ao longo do tempo e do espaço, como nas diferenças de pico das vazões no tempo das cheias, na década de 80, e no extremo das vazantes, nos eventos negativos ao longo dos anos 90, anos de 2000 e 2010.

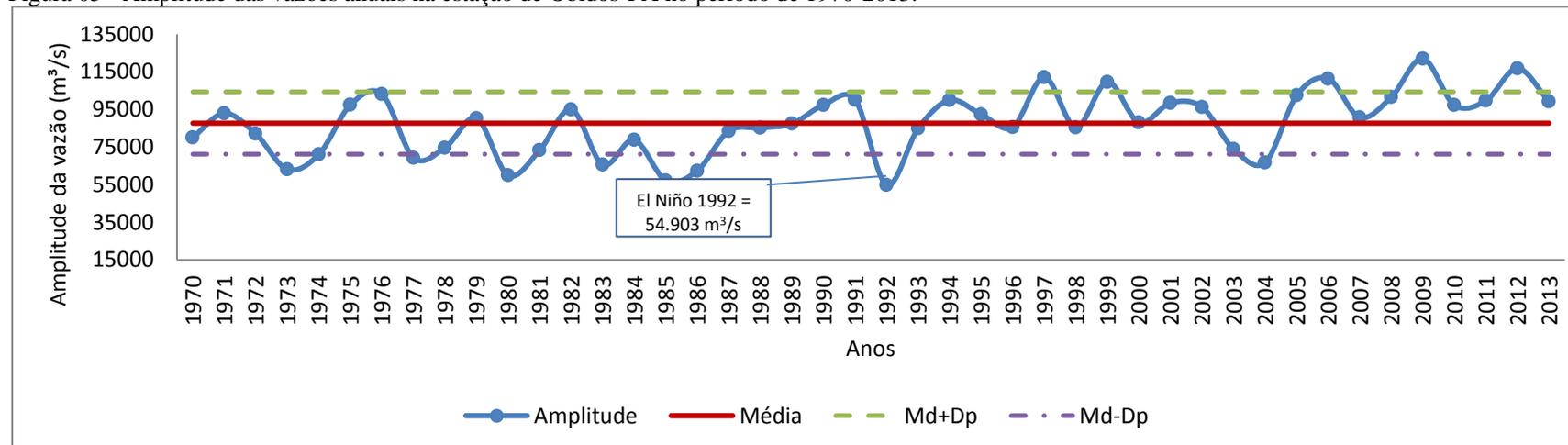
A partir da Figura 06 percebe-se que houve a ocorrência de El Niño nos anos de 1991 e 1992, coincidindo com uma anomalia de vazão negativa ($16.124 \text{ m}^3/\text{s}$) para o ano de 1991 abaixo da média, que persistiu no ano seguinte, pois a vazão em 1992 continuou abaixo da média ($5.604 \text{ m}^3/\text{s}$). Dessa forma, para este caso, pode-se afirmar que a variabilidade do regime nestes anos foi afetada pelo fenômeno, concordando com Zeng (1999) que estudou a influencia do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o escoamento na bacia Amazônica, e concluiu que a mesma pode ocorrer até sete meses após o início do evento, afetando o regime hidrológico do ano em curso e também do ano seguinte.

Figura 04 – Regime das vazões anuais na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.



Fonte: Do autor.

Figura 05 - Amplitude das vazões anuais na estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.



Fonte: Do autor.

A Tabela 02 registrou a ocorrência de 17 El Niños no período de 1970 a 2013. Especificamente nos anos de 1970, 1976, 1977, 1979, 1980, 1983, 1987, 1991-1992, 1995, 1997-1998, 2002, 2006-2007, 2009 e 2010. E a Figura 06 mostra que anomalias negativas persistiram ao longo dos anos 90 e 2000.

No ano de 1970 houve uma forte diminuição de vazão na Amazônia, coincidindo com a ocorrência do fenômeno El Niño moderado, e que, portanto, pode ter causado uma anomalia de vazão negativa ($3.624 \text{ m}^3/\text{s}$) neste ano.

As vazões do rio Amazonas na estação de Óbidos mostram valores maiores que a média durante os episódios de La Niña ocorridos em 1975-76 e 1988-89, comparados com valores mais baixos nos anos de El Niño, ocorridos em 1982-83 e 1986-87. Durante o ano de 1998, após a rápida desintensificação do fenômeno El Niño em maio e junho, observou-se um súbito resfriamento das águas do Pacífico Equatorial Central (CPTEC, 2001).

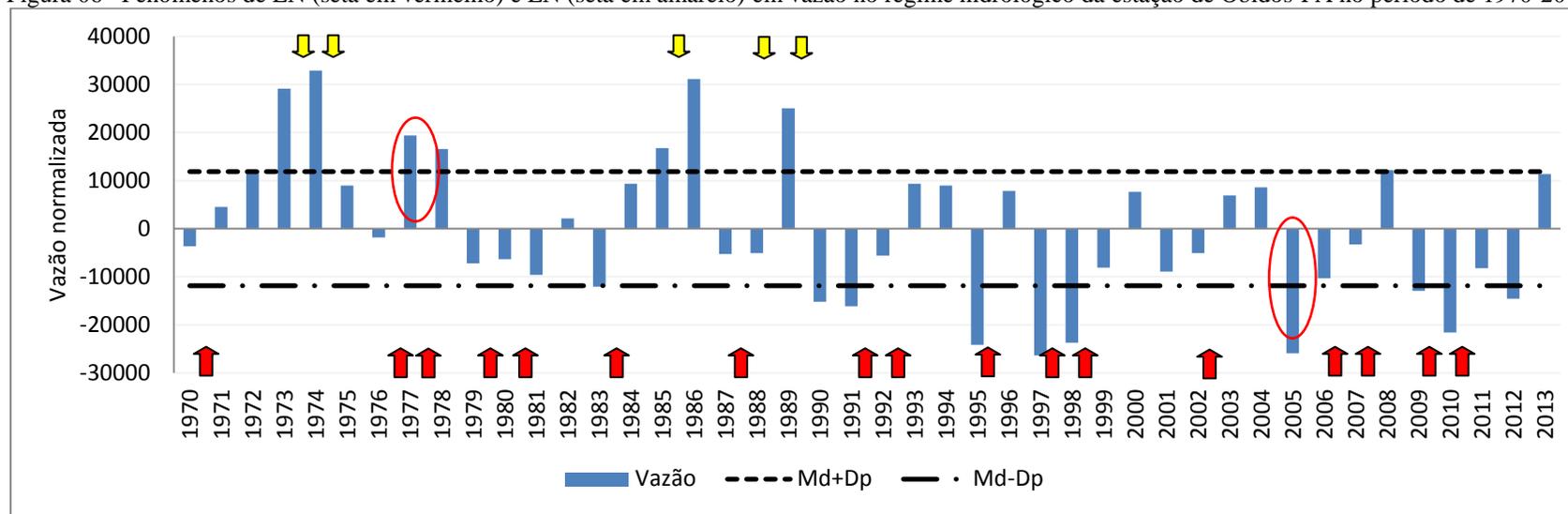
O estudo de Guedes (2010) confirma que em 1989 ocorreu uma das maiores cheias dos últimos cem anos, e uma vazante ocorrida em 1998. No caso da cheia foi precedida por evento forte de La Niña em 1989. Nestes períodos o estoque de água continental é também elevado e segue uma tendência de aumento em escala longa de tempo (ZENG et al., 2008).

Ainda conforme a Figura 06 pode-se verificar que os anos de 1986 e 1977 foram de vazões extremas positivas. Guedes (2010) ainda afirma que nestes anos, a ocorrência do fenômeno de El Niño, não foi determinante para a ocorrência de anomalias negativas, pois neste período o estoque de água continental na Amazônia pôde manter-se elevado.

Dessa forma, comprova-se que a componente vazão do rio Amazonas foi afetada por anomalias na década de 80. Onde os anos de altas vazões coincidiram com ano de La Niña e seus efeitos.

Apesar disso, pode-se afirmar que os eventos La Niña de intensidade forte influenciam parcialmente na vazão da calha do rio Amazonas, podendo assim causar extremos de cheia. Esse estudo também pode ser comprovado por Espinoza et al. (2014) que analisaram a relação da elevada vazão e eventos de La Niña para o rio Beni durante os eventos com intensidade forte e moderada.

Figura 06– Fenômenos de EN (seta em vermelho) e LN (seta em amarelo) em vazão no regime hidrológico da estação de Óbidos-PA no período de 1970-2013.



Fonte: Do autor.

5.2 Disponibilidade hídrica do rio Amazonas em função da Q95%

A partir da característica do regime hidrológico na bacia Amazônica ao longo dos 44 anos analisados, de apresentar mais anos de vazão abaixo da média se comparado aos anos de vazão acima da média, o trabalho investigou se os valores de vazão observada nestes anos alcançaram os níveis mínimos recomendados pela Agência Nacional de Águas, o quantil de vazão Q95%, em boa parte para procedimentos administrativos de licenciamento ambiental e concessão de outorga do uso da água no País e, neste trabalho, para a manutenção dos ecossistemas da bacia Amazônica em situações de eventos extremos no período de 1970 a 2013.

Assim, a vazão Q95% foi determinada separadamente tanto para os 44 anos quanto para os 12 meses ao longo dos anos da série histórica analisada.

5.2.1 Análise da disponibilidade hídrica anual diante a vazão Q95%

A partir do período entre os anos de 1970 a 2013, determinaram-se as novas vazões Q95% para cada mês com os dados dos anos da série como referência a ser mantida na bacia Amazônica ao longo dos 12 meses do ano para assegurar água no leito do rio e às diversas espécies do ecossistema amazônico, conforme Tabela 04.

Tabela 04 – Vazões Q95% para ser mantida no rio Amazonas em cada mês no período de cheia e no período de vazante.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Q95% (m ³ /s)	106.000	130.540	147.180	178.327	192.138	190.827	178.322	151.233	113.886	80.545	83.339	97.164

Fonte: Do autor.

Nota-se que, como foi observado na Figura 02, os meses de abril a julho foram de cheia do rio Amazonas em Óbidos. Porém, a partir da vazão de referência, as vazões mensais se tornam mais restritivas para o rio Amazonas.

A Tabela 04 ainda mostra que no mês de outubro o rio Amazonas em Óbidos se torna mais restritivo com um quantil de vazão disponível (Q95%) de 80.545 m³/s, aproximadamente. Enquanto que no mês de maio, o rio Amazonas alcança a vazão menos restritiva de 192.138 m³/s.

Tabela 05 – Disponibilidade Hídrica Negativa ou igual ou inferior a Q95% (Em círculo vermelho)/ Anos de EN (em amarelo) no período de 1970 a 2013.

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
1970	-1659,7	0	19269	24880,7	36246,1	37626,3	37700,6	40008,4	42134	43720,64	16614,68	816,45	5470,0
1971	0	11716	33496,8	47516,7	55070,3	62412,7	63665,4	63421,3	62596,3	59152,94	42353,04	34297,05	13620,0
1972	18191,3	27362,7	50644,5	45438,7	50694,2	52648,3	50077,7	48055,5	52856,3	56593,84	31156,04	24165,15	21210,0
1973	23297,7	9913,9	18310	17761,3	33264,2	48091	52692,2	61070	68790,3	74975,14	51721,64	42266,75	38210,0
1974	37557,7	40298,5	55194,8	54771,3	57437,7	57961,7	56239,3	59689,3	64595,3	66947,74	51396,04	37884,15	41990,0
1975	33929,3	34753,5	50576,4	56693,3	63011,3	69028,7	68057,1	73182,2	77736,6	70318,34	33646,34	19238,35	18080,0
1976	23284,2	32761	48749,7	61439,3	73257,7	74524,3	71608,7	60826,8	49840,6	38167,74	16586	12909,95	7270,0
1977	18099	7963,2	13433,9	23459,3	45590,3	55233,3	53953,2	47180,9	41281,6	44018,74	44794,64	42636,15	28470,0
1978	48218,4	32892,8	41347,4	38046	44480	47408,7	43929,3	40623,2	37918	40123,84	34397,34	27568,35	25670,0
1979	38525,8	27863,9	30881,9	36411,3	48295,5	52913,3	43263,5	26016,4	17598,6	18035,49	14305,34	7460,95	1870,0
1980	11991,3	2569,6	-1931	-9168,7	-8661,3	-3027	0	0	797,3	15286,45	25471,64	22607,05	2770,0
1981	14591,3	9670,3	16481,6	17071	10931	9410	13496,7	18400	18337,3	17423,55	9492,68	7056,75	-510,0
1982	24333,8	37412,8	52116,8	52102,7	65048,4	66102,7	57594,2	46148,7	39898,6	34143,24	19901,34	22979,65	11230,0
1983	25568,7	13725,3	6947,7	0	-2934,2	0	-6057,5	-15412,9	-9812	11880	11173,68	12728,75	-2970,0
1984	20357,7	19380,6	36912,6	39129,7	48765,8	45703	42652,5	40603,5	41157,6	40961,34	29369,04	24190,95	18450,0
1985	34111,9	37290,7	27456,4	5854	5162,9	11947,3	13763,5	19476,8	34821	43431,94	33761,64	31918,05	25860,0
1986	33097,1	22432,1	36933,5	40566,3	42628,1	43271	52010,6	55445,1	48785,6	52216,14	52509,04	48273,85	40190,0
1987	41394,8	31513,5	43498,7	38462,3	38145,5	31854,3	22532,9	14753,2	15700,6	19937,74	13387,34	13911,25	3850,0
1988	19052,6	20506,1	38297,1	26773	31771	38107,7	38591,6	33675,5	22712	17600,32	16901,34	28569,05	4030,0
1989	29819	34582,5	64183,5	71270,7	74304,8	80371	79175,4	75851,3	68497	55793,24	46143,64	32105,15	34150,0
1990	8623,8	10198,2	40959,7	37336	37961,6	39057,7	39320,3	41030,3	38748,6	25043,24	8743,34	19403,25	-6110,0
1991	32312,9	34925	28949,7	31952,7	40395,5	47298	44535,8	47433,2	42233,6	25513,54	47433,2	1608,71	-7030,0
1992	-4520,7	-13721,8	-7297,8	4429	0	-11923,7	-20812,6	-14374,9	3384,6	25679,34	12883,34	19019,65	3490,0
1993	30227,4	28087,1	47481,9	51914	52168,1	49305,3	44767,4	39554,8	37187	39262,54	31572,64	43193,85	18450,0
1994	54898	57126,4	72116,4	65169	62494,8	64148,3	66716,7	63423,2	62237,3	58722,24	31714,34	22552,25	18080,0
1995	27209,3	12070,3	10651	9634,7	24845,5	32421	28168,7	20675,1	0	-634,84	0	16910,65	-15050,0
1996	23013,8	23135,8	46575,1	53838,7	55427,7	56011	51149	46308,4	40279	33581,64	28438,34	27720,65	16940,0
1997	24199	20459,6	39345,1	60923,3	70220,9	62954,3	46687,1	30994,2	13286,3	0	-6944,66	-2464,52	-17250,0
1998	2247,7	-6988,6	0	-2888,3	7823,5	19228	25999,6	26091,9	16778,3	6152,9	4748,68	18795,45	-14590,0
1999	16526,1	25557,8	55398,7	56913,3	64228,1	74609,3	71017,7	69591,9	63411	42506,74	13495	1392,58	1020,0
2000	12989	13175,1	30427,4	42583	57000,6	59365,7	60077,4	63283,5	61723	55785,84	34838,34	15785,85	16750,0
2001	17942,2	27880	48768	58094,3	54245,5	51418,3	48070,9	38806,1	33874	27725,84	10252	10155,85	170,0
2002	28679,7	18170,3	32741,9	35375,3	39992,2	50775,7	55994,5	57022,2	54808,3	40864,84	18034,04	23945,85	4030,0
2003	23177,4	12868,9	16732,9	23707	33962,9	39463	42180,6	46560,3	49861,3	41670,94	24916,04	13214,55	16010,0
2004	13211,3	15743,4	23392,6	27442,7	30022,9	23876	17981,9	23361,9	33411	40326,44	25996,04	20633,55	17700,0
2005	19231,9	10171,4	38326,1	51267,7	52354,8	42329,7	25497,7	8254,8	-5169,4	-1050,64	4551,34	17870,95	-16830,0
2006	31267,4	40306,4	68915,5	67338,7	79272,9	77649	58007,1	37004,8	22989,6	17279,04	13701	24054,15	-1190,0
2007	29941,9	27295	32615,1	30122,3	45209,7	55440	49340,6	43632,2	30379,3	23310,34	18587,34	24836,15	5830,0
2008	34605,5	44562,4	68687,2	71375,3	72026,1	74075	82904,7	45987,1	32486	30377,74	18170,34	30281,95	21292,9
2009	42075,8	56859,2	89954,8	96201,7	49195,6	61039	98390,6	87073,9	66723,3	38546,74	11726,68	1829,03	-3810,0
2010	21590,3	20227,5	23325,5	31368,7	48043,9	48901,7	35492,2	24057,7	6012	4267,42	-1469,32	-39,68	-12510,0
2011	5715,1	13446,7	38792,6	55266	68567,1	70204,3	60623,8	47418,7	25107	14380,64	14461,34	13389,65	830,0
2012	29072,6	52298,6	89550,6	94046,3	78468,6	86199	71649,3	56983,2	33057	17704,52	4745,68	0	-5470,0
2013	14046,4	26221	60921,6	75483,7	83776,4	81531,3	69107,4	58438	56909	51517,14	36158,64	38965,85	20450,0

Fonte: Do autor.

A Tabela 05 apresenta a vazão determinada pela equação da disponibilidade hídrica (DH_{it}), através da comparação entre as vazões anteriormente observadas em seu regime natural e sazonal, característico da região amazônica, com a vazão Q95% de cada mês da Tabela 04. Dessa forma, analisou-se a periodicidade de quantidade de água para a manutenção do ecossistema amazônico ao longo dos 44 anos tanto para as séries históricas de vazões entre anos (análise interanual) quanto para as séries históricas de vazões mensais (análise anual).

Conforme a Tabela 05, o rio Amazonas nos meses de janeiro e março possui uma capacidade de disponibilidade hídrica bem superior à vazão de referência utilizada na legislação.

Entretanto, observa-se também que o comportamento da descarga mínima na bacia do rio Amazonas ao longo do tempo foi desfavorável em alguns períodos com valores de disponibilidade hídrica muito negativa, provavelmente causando estresses hídricos.

Ao analisar os períodos de eventos de cheia e vazante que influenciam no rio Amazonas, observou-se uma relação com alguns anos mostrados de ocorrência de eventos extremos ao longo da série histórica.

A Tabela 05 mostra que os anos de 1970, 1971, 1980, 1983, 1992, 1995, 1997, 1998, 2005, 2010 e 2012 foram os que apresentaram os índices de vazão disponível mais críticos com valores iguais ou inferiores a vazão referência para o trabalho (Q95%) de cada mês. E o ano de 1980 foi o que apresentou elevados índices de disponibilidade hídrica negativa nos seus 6 meses, de março a agosto. Por conseguinte a disponibilidade nos meses de março, abril (o mais crítico do ano), maio e junho foram de $-1.931 \text{ m}^3/\text{s}$, $-9.168,7 \text{ m}^3/\text{s}$, $-8.661,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-3.027 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Os valores de julho e agosto também apresentaram indicativos de estresse hídrico devido seus valores terem igualado com as suas correspondentes vazões de referência (Q95%), ou seja, a $178.322 \text{ m}^3/\text{s}$ para Q95%Jul e a $151.233 \text{ m}^3/\text{s}$ para Q95%Ago.

Além disso, a Tabela 05 mostra que o ano de 1983 também apresentou índices de disponibilidade hídrica negativa em 6 meses. Entretanto, de abril a setembro. Sendo que a disponibilidade nos meses de maio, julho, agosto e setembro foram de $-2.934,2 \text{ m}^3/\text{s}$, $-6.057,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $-15.412 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-9.812 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, haja vista que neste ano, os meses que igualaram seus valores com as suas correspondentes vazões de referência (Q95%) foram abril e junho, apresentando prováveis indicativos de estresse hídrico, ou seja, a $178.327 \text{ m}^3/\text{s}$ para Q95%Abr e a $190.827 \text{ m}^3/\text{s}$ para Q95%Jun.

Outro ano com grande indicativo de estresse hídrico foi 1992, que em 7 meses, apresentou índices de disponibilidade hídrica negativa, ou seja, em janeiro, fevereiro, março, maio, junho, julho e agosto. Sendo que nos meses de janeiro, fevereiro, março, junho, julho e agosto a disponibilidade hídrica foi de $-4.520 \text{ m}^3/\text{s}$, $-13.721 \text{ m}^3/\text{s}$, $-7.297 \text{ m}^3/\text{s}$, $-1.1923 \text{ m}^3/\text{s}$, $-20.812 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-14.374 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Ressalta-se que neste ano, apenas o mês de maio igualou seu valor com a sua correspondente vazões de referência (Q95%), indicando, também, provável estresse hídrico, ou seja, a $192.138 \text{ m}^3/\text{s}$.

Portanto a partir dos anos 80, pela Tabela 05, verificou-se que o mês de agosto apresentou altos índices de disponibilidade hídrica negativa nos anos de 1983 e 1992, ou seja, $-15.412 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-14.374 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. E que neste mês a vazão disponível se mostrou altamente restritiva, chegando a níveis não sustentáveis.

Ressalta-se que nesse período houve ocorrência do El Niño de fraca intensidade (1983-1984) apresentado no portal do CPTEC. Nesse caso, pode-se afirmar que a vazão disponível nestes 2 anos (1983 e 1992) não foi suficiente para suprir a vazão Q95% exigida para o mês de agosto ($151.233 \text{ m}^3/\text{s}$). A partir deste mesmo período, outro mês apresentou índices de disponibilidade muito negativa. O mês de julho mostrou valores altos de $-6.057,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-20.812 \text{ m}^3/\text{s}$, também, nos anos de 1983 e 1992.

O trabalho até aqui definiu como período de vazante somente o compreendido entre os meses de setembro a dezembro. Ocorre que desde a década de 80, as vazões sazonais do rio Amazonas têm mostrado forte aumento na amplitude da vazão mínima anual, ou seja, com maiores diferenças de vazão entre as épocas de cheia e vazante, como mostrado. No entanto, acompanhado também dos piores indicativos de estresse hídrico, pois estes picos de vazão vêm ocorrendo em meses muito próximos uns dos outros, no período de vazante. Assim, os meses que antecedem o período de vazante, como os meses de julho e agosto, também devem ser levados em consideração.

Na estação fluviométrica de Óbidos, os anos de 2005 e no ano da seca de 2010 alcançaram valores significantes de variabilidade (Figura 04). Esses períodos de déficit de água, concordam com os estudos de Frappart et al. (2012) que encontraram uma queda, porém de precipitação, utilizando dados do Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) para a seca de 2005.

No ano de 1997, a vazão disponível se mostrou restritivo chegando a níveis não sustentáveis de aproximadamente $-6.944 \text{ m}^3/\text{s}$ em novembro. Coincidindo com a ocorrência do ano de El Niño.

Houve anos de El Niño que não apresentaram índices de disponibilidade hídrica críticos. Como ocorreu nos anos de 1979, 1987, 1991, 2002, 2006-2007 e 2009 que apresentaram mínimas vazões de 91.500 m³/s, 93.480 m³/s, 82.600 m³/s, 93.660 m³/s, 88.440 m³/s, 95.460 m³/s e 85.820 m³/s respectivamente. Porém em índices acima da vazão limite para o trabalho (Q95%) de cada mês do ano para assegurar a sustentabilidade deste ecossistema amazônico. Dessa forma, embora tenham ocorrido os anos mais intensos de El Niño, ao longo da série, nem todos refletiu na vazão do rio Amazonas (MARENGO et al., 2008; ESPINOZA et al., 2011; FRAPPART et al., 2012; MARENGO et al., 2012).

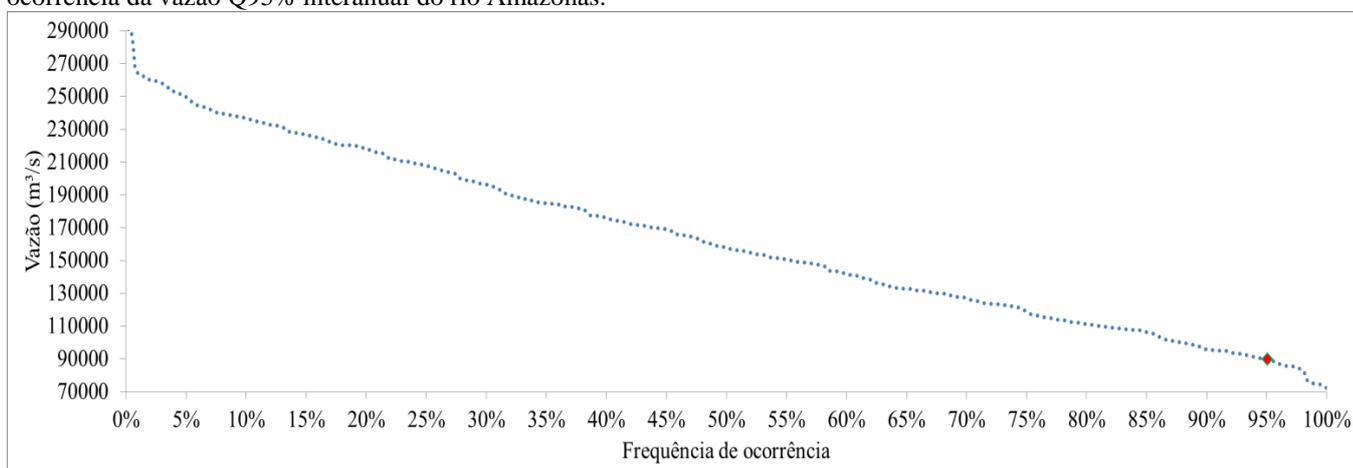
Além disso, houve anos de disponibilidade hídrica crítica que não coincidiram com anos de El Niño. Como ocorreu nos anos de 1970, 1971, 1995, 2005 e 2012.

Embora os estudos de Brasil (2006) afirmam que existe uma alta disponibilidade hídrica que associado a baixa densidade demográfica e a um desenvolvimento econômico ainda incipiente faz com que a região amazônica não apresente problemas de disponibilidade hídrica em grande escala.

5.2.2 Análise da disponibilidade hídrica interanual diante a vazão Q95%

A vazão Q95% encontrada e fixada como referência devido grande frequência de ocorrência no período de 1970-2013 foi de 89.630 m³/s (Figura 07). Para verificar se os anos com valores mínimos de vazão observada na variabilidade interanual para a bacia Amazônica (1983, 1990, 1991, 1995, 1997, 1998, 2005, 2009, 2010 e 2012), citado anteriormente, coincidiam com os níveis mínimos recomendados plotou-se a vazão Q95% interanual em um mesmo gráfico, como verificado no histograma de vazões da Figura 08.

Figura 07 – Regime de vazões de 1970-2013 ordenadas crescentemente para determinação da frequência de ocorrência da vazão Q95% interanual do rio Amazonas.



Fonte: Do autor

A partir desta referência, a Figura 08 mostrou que houve flutuações significativas entorno da vazão Q95% anual, onde todos os anos que apresentaram vazões mínimas ficaram abaixo até mesmo da vazão recomendada por lei, como ocorrido nos anos 1983, 1990, 1991, 1995, 1997, 1998, 2005, 2006, 2009, 2010 e 2012.

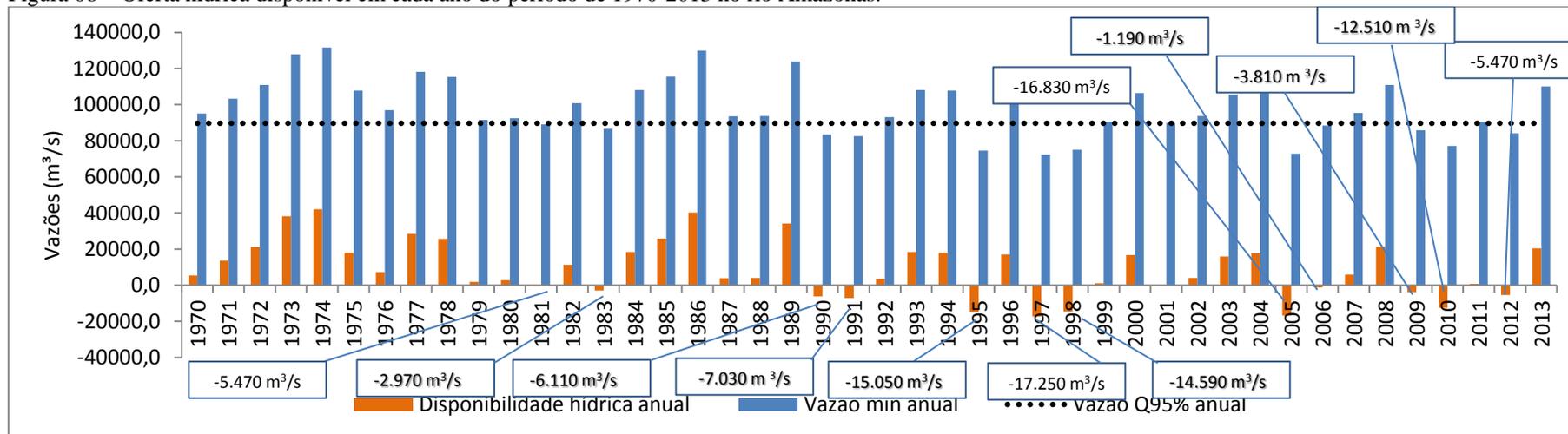
Enquanto que ao fixar a vazão Q95% para cada ano do período de 1970-2013, de maneira separada, para efetuarmos os cálculos da equação da disponibilidade hídrica (DH_i), sugerida neste trabalho, para cada ano da série, a Figura 08 mostrou que na maior parte dos anos não ocorreu problema de oferta hídrica. Nestes casos, os valores das vazões mínimas observadas no rio Amazonas ao longo dos anos foram superadas pelas vazões Q95%. Observou-se também que a disponibilidade hídrica nos anos 1973, 1974, 1985 e 1989 foram as maiores, e acompanharam os máximos das vazões mínimas observadas nestes anos que estavam sobre influência de La Niña.

No ano de 1977, houve ocorrência de El Niño, entretanto a vazão mínima observada, assim como a disponibilidade hídrica, foi elevada, indicando que o evento de El Niño não influenciou, de modo a reduzir as vazões da bacia do rio Amazonas. Este fato também foi observado por Guedes (2010), que concluiu, que neste mesmo ano, o estoque de água continental na Amazônia manteve-se elevado.

Entretanto, em 12 anos a disponibilidade hídrica foi negativa, o que significa que a vazão do rio Amazonas nestes anos, não favoreceu as necessidades de manutenção dos ecossistemas, provavelmente causando estresses hídricos. Sendo que os anos de 1995, 1997, 1998 e 2005 foram de disponibilidades hídricas muito negativas, coincidindo com as mínimas vazões observadas nos anos que estavam sobre influência de El Niño. Nos anos de 1997 e 2005 foram observados os máximos de disponibilidade hídrica negativa dos 44 anos analisados, atingindo valores de $-17.250 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-16.830 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Ressalta-se que o ano de 1997 foi de El Niño muito forte, porém, o ano de 2005 foi ano de seca devido as águas do oceano Atlântico Norte anormalmente quentes (MARENGO et al., 2008; ZENG et al., 2008).

Dessa forma, a Figura 08 mostrou que a disponibilidade hídrica se mostra restritiva (valores negativos muito elevados) a apenas alguns anos.

Figura 08 – Oferta hídrica disponível em cada ano do período de 1970-2013 no rio Amazonas.



Fonte: Do autor.

6 CONCLUSÕES

Os resultados mostram o regime hidrológico do rio Amazonas e a regulação das cheias e vazantes através da faixa de oscilação hidrológica natural da bacia amazônica.

A análise mensal mostrou que os meses de abril a julho foram épocas de cheia e a época de vazante ocorreu de setembro a dezembro, compondo a sazonalidade do ciclo hidrológico do rio Amazonas. Sendo o mês de outubro como o mais restritivo. Enquanto o mês de maio, o rio Amazonas apresentou a vazão menos restritiva.

Neste trabalho pôde-se concluir que a variabilidade temporal contribuiu na persistência das baixas vazões da bacia Amazônica Brasileira. Onde foi registrado vazão alcançando valor de até $72.380 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ao longo do período estudado, a bacia mostrou que embora a região Amazônica seja conhecida por sua grande disponibilidade hídrica, anos com baixas vazões têm sido registrados. E com a característica de persistência em relação aos anos de altas vazões na bacia hidrográfica Amazônica. Com as maiores flutuações iniciando somente a partir do ano de 1983 e alcançando até a ordem de $131.620 \text{ m}^3/\text{s}$ (como em 1974).

Pôde-se concluir que significativos aumentos de vazões não foram detectados desde meados do século XX na Amazônia, pois o aumento sazonal a partir de 1989 em relação à amplitude média da vazão de $87.727 \text{ m}^3/\text{s}$, que variou de $54.903 \text{ m}^3/\text{s}$ (em 1992) a $122.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (em 2009), foi devido a fortes níveis mínimos registrados no período analisado.

Além da influência temporal, o estudo mostrou que o comportamento das vazões na bacia Amazônica sofreu a influência de anomalias de TSM negativas e positivas moduladas pela intensidade do El Niño e La Niña em cada ano da série.

No entanto, as variabilidades hidrológicas na Amazônia não são causadas somente pelos fenômenos de El Niño ou La Niña, ou seja, elevados índices fluviométricos podem ou não serem afetados pela La Niña e baixos índices pelo El Niño. Assim, o ano de 2009, para a bacia Amazônica, foi ano de cheia atípica do ponto de vista hidro-climatológico que não influenciou na vazão normalizada apresentada neste trabalho. Enquanto que o ano de 2005 foi ano de seca caracterizado por apresentar uma baixa vazão, que ocorreu não devido ausência de El Niño, mas pelo fato das águas do oceano Atlântico Norte estarem anormalmente quentes.

Quando se analisou cada ano da série histórica pôde-se comprovar que o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) afeta o regime hidrológico do ano em curso e também do ano seguinte do escoamento na bacia Amazônica, pois observou-se ocorrência de El Niño nos anos de 1991 e 1992, coincidindo com uma anomalia de vazão negativa ($16.124 \text{ m}^3/\text{s}$) para o ano de 1991 abaixo da média, que persistiu no ano seguinte, pois a vazão em 1992 continuou abaixo da média ($5.604 \text{ m}^3/\text{s}$).

A análise interanual mostrou que a vazão na bacia do rio Amazonas ao longo do tempo foi desfavorável em anos de extremos negativos e o método dos Percentis (especificamente a ordem quantílica Q95%) permitiu quantificar a disponibilidade hídrica, ao longo dos meses e dos anos da série temporal, em que os valores mínimos de vazão observada do rio Amazonas não foi suficiente para a manutenção dos ecossistemas da bacia Amazônica através da apresentação de índices de disponibilidade hídrica muito negativa, abaixo da exigida pela legislação para garantir a sustentabilidade das diversas espécies do ecossistema.

Ressalta-se que a distribuição temporal das vazões mínimas é importante para projetos como abastecimento de água, irrigação e energia elétrica. As vazões mínimas que ocorrem em época de estiagem são utilizadas nestes estudos dentro de uma das seguintes finalidades: análise, projeto, estimativa, regulamentação legal, operação e planejamento.

Assim, conforme os resultados, a vazão do rio Amazonas sofre variação no tempo e no espaço. E quando associado com fenômenos de alta intensidade, maior a sua variabilidade. Dessa forma, pode-se concluir que existem diferenças nas contribuições sazonais na vazão do rio Amazonas durante eventos extremos.

Os períodos de águas altas e águas baixas para a bacia hidrográfica do rio Amazonas são fenômenos naturais, decorrentes do caráter aleatório dos processos hidrológicos. Além disso, os recursos de água doce compreendem uma conexão fundamental entre a sociedade e o ecossistema.

Mediante o trabalho, entende-se que há uma necessidade de desenvolver um estudo com mais análises de descargas disponíveis do rio, fazendo-o para cada canal da bacia Amazônica entre os regimes de seca e cheia, tornando assim uma região adequada para o desenvolvimento de estudos relacionados às grandes variabilidades de água disponível, podendo essas informações hidrológicas ser estimados de forma a contribuir para um maior entendimento de prognóstico dos extremos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil*. Brasília, DF, Brasil, 2007a. vi, 123p. (Cadernos de Recursos Hídricos, v.2).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Hidroweb, sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acessado em: 2007b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Hidroweb, sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acessado em: 2009.
- ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. *So fruitful a fish: Ecology, conservation, and aquaculture of the Amazon's Tambaqui*. New York: Columbia University Press, 1997.191 p.
- BARRETO, A. N. Sede zero - um desafio hídrico para o 3 milênio. *Jornal Informativo Diário Ambiente Brasil*. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_doce/sede_zero_-_um_desafio_hidrico_para_o_3.%C2%B0_milenio.html>. Acesso em 25 jul. 2015.
- BRASIL. Lei n.º 9433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Brasília, DF, 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas (ANA). *Caderno de recursos hídricos. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país: diretrizes e prioridades*. Brasília, DF, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Processos. Divisão hidrográfica nacional*. Brasília, DF, 2006.
- CALLÈDE, J. et al. As descargas do rio Amazonas em Óbidos. *Horizon pleins textes, La base de ressources documentaires de l'IRD*. Brasília, DF, Brasil: ORSTOM, CP 09747,70001-970 1996.
- CALLÈDE, J.; GUYOT, J.L.; RONCHAIL, J.; MOLINIER, M.; OLIVEIRA, E. L'Amazone à Óbidos (Brésil): Étude statistique des débits et bilan hydrologique. *Hydrological Sciences Journal*, v. 47, n. 2, p. 321-333. DOI: 10.1080/02626660209492933. 2002.
- CALLÈDE, J.; GUYOT, J. L.; RONCHAIL, J.; HÔTE, Y. L'; NIEL, H.; OLIVEIRA, E. de. Evolution du débit de l'Amazone à Obidos de 1903 à 1999/ Evolution of the River Amazon's discharge at Óbidos from 1903 to 1999. *Hydrological Sciences Journal*, v. 49, n. 1, p. 85-97, 2004. DOI: 10.1623/hysj.49.1.85.53992.

CHEN, J.L.; WILSON, C.R.; TAPLEY, B.D.; ZANG, Z.L.; NIU, G.Y. The 2005 drought event in the Amazon River basin as measured by GRACE and estimated by climate models. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, B05404, 2009. DOI:10.1029/2008JB006056.

COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G. R.; TASSI, R.; SOUZA, C. F. Em busca do hidrograma ecológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 16., 2005, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABRH, 2005. 21f.

COSTA, M. H. et al. Efeitos de variabilidade climática e desmatamento no regime de águas superficiais. In: AMAZON and Global Change. [S.l.]: DAAC – Distributed Active Archive Center, Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA), 2009. p. 543-553 10.1. DOI: 029/2008GM000738. (Geophysical Monograph Series, 186). Disponível em: <http://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/33_Efeitos_Variabilidade_Costa.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.

COUTINHO, E. C. *O regime hidrológico da bacia amazônica e análise das relações de eventos hidrológicos extremos e seus impactos na sociedade*. 2016. 144f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Tabela de anos de El Niño/La Niña*. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/laninha/lanitabp>>. Acesso em: 09 abr. 2001.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana. *Revista brasileira de recursos hídricos*. v.13, n.3. p.59-71, jul/set. 2008.

CUNHA, A. C. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. *Biota Amazônia*, v. 3, n. 1, p. 124-143, 2013b.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; CUNHA, H. F. A; SCHULZ, H. E. Dam effect on stream reaeration evaluated with QUAL2KW model: case study of the Araguari river, Amazon region, Amapá state/Brazil. In: BILLIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. *Sustainable water management in the tropics and subtropics – and case studies in Brazil*. Jaguarão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa, v.2. p.153-177. DOI:10.13140/2.1.1160.0162. 2011.

CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A.; PINHEIRO, L. A. R. Modelagem e simulação do escoamento e dispersão sazonais de agentes passivos no rio Araguari AP: cenários para o AHE Ferreira Gomes-I - Amapá/Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 1, p. 67-85, 2013a.

CUNHA, A. C.; VILHENA, J. E. S.; SANTOS, E.; SARAIVA J. B.; KUHN, P. A. F.; BRITO, D. C.; SOUZA, E. B.; ROCHA, E. P.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, A. U.; BRASIL JUNIOR, A. C. P.; PACA, V. H. Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, p. 95-110, 2014.

DALLAS, H. F.; RIVERS-MOORE, N. Ecological consequences of global climate change for fresh water ecosystems in South Africa. *South African Journal of Science*, v.110, n.5/6, p. 0111, 2014.

DEFANT, A. *Physical oceanography*. New York: Pergamon Press, 1960. v. 2.

ESPINOZA, J.C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J.L.; JUNQUAS, C.; VAUCHEL, P.; LAVADO, W.; DRAPEAU, G. E.; POMBOSA, R. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (Western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. *Geophysical Research Letters*, 38, L13406, doi:10.1029/2011GL047862. 2011.

ESPINOZA, J.C; MARENGO, J.A; RONCHAIL, J.; CARPIO, J.M.; FLORES, L.N.; GUYOT, J.L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical subtropical South Atlantic SST gradient. *Environmental Research Letters*. v.9 124007 (9 f.) doi:10.1088/1748-9326/9/12/124007. 2014.

FARIAS JUNIOR, J. E. F. de. *Análise de metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de caso: rio Coruripe/AL e Rio Solimões/AM*. 2006. 138f. Dissertação (Mestrado) - Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, N. S. Zona de convergência intertropical. *Boletim do Climanálise Especial* - Comemoração dos 10 anos, São Paulo, 1996. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 28 fev. 2011.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; DE OLIVEIRA, E.; DE FREITAS, M. A. V. Caracterização Hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C.E.C. de. (Org.) *Amazônia: uma perspectiva interdisciplinar*. Manaus: Ed. EDUA, 2002. p. 33-53.

FOLEY, J. A.; BOTTA, A. L.; COE, M. T.; COSTA, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 16, n. 4, p. 1-17, 2002.

FRAPPART, F.; PAPA, F.; SILVA, J.S.; RAMILLIEN, G.; PRIGENT, C.; SEYLER, F.; CALMANT, S. Surface freshwater storage and dynamics in the Amazon basin during the 2005 exceptional drought. *Environmental Research Letters*, v.7, 044010 (7f.). DOI:10.1088/17489326/7/4/ 044010. 2012.

GABIOUX, M. *Influência da lama em suspensão sobre a propagação da maré na Plataforma Amazônica*. 2002. 109f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

GADELHA, S. O. de Melo. *Variabilidade climática e correlação entre TSM e vazão fluvial nos rios Amazonas e Negro*. 2011. 69f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - FFLCH/Universidade de São Paulo - USP, 2011.

GALLO, M. N. *A Influência da vazão fluvial sobre a propagação da maré no estuário do Rio Amazonas*. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Oceânica, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

GLANTZ, M. H. El Niño, La Niña and freshwater resources. *Fresh Water. Our Planet* 9.4, Mar. 1998. Disponível em: <<http://www.ourplanet.com/imgversn/94/glantz.html>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

GOMES, E. P. et al. Métodos para determinação de vazão ecológica de pequenas e médias bacias Amazônicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. *Anais...* Maceio: ABRH, 2011. 13f.

GU, G.; ADLER, R. F. Interannual variability of boreal summer rainfall in the equatorial Atlantic. *International Journal of Climatology*, v. 29, p. 175-184, 2009. Doi: 10.1002/joc.1724.

GUEDES, A. E. D. *Influência da variabilidade do estoque de água continental na configuração de condições hidroclimáticas extremas na bacia Amazônica*. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente do LBA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA/Universidade Estadual do Amazonas – UEA, Manaus, 2010.

GUIMBERTEAU, M.; RONCHAIL, J.; ESPINOZA, J.C.; LENGAINNE, M.; SULTAN, B.; POLCHER, J.; DRAPEAU, G.; GUYOT, J-L.; DUCHARNE, A. e CIAIS, P. Future changes in precipitation and impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins. *Environ. Res. Lett.*, v. 8, 014035 (13f.) DOI:10.1088/1748-9326/8/1/014035. 2013.

GUYOT, J.L.; CALLÉDE, J.; COCHONNEAU, G. Caractéristiques hydrologiques du bassin amazonien. In: MANAUS 99: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL PROCESSES IN LARGE SCALE RIVER BASINS. 1999, Manaus- Brasil. *Program and abstracts*. Manaus- Brasil: Aneel; CNPq, 82, 1999.

JUNK, W., P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: INTERNATIONAL LARGE RIVER SYMPOSIUM, 1989, [S.l.]. *Proceedings...* [S.l.]: Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106, 1989. p.110-127.

KOSUTH, P., BLITZKOW, D., CAMPOS, I. O., et al. Altimetric reference for Amazon área: first experiments. In: MANAUS'99: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL PROCESSES IN LARGE SCALE RIVER BASINS. 1999, Manaus, Brasil. *Program and abstracts*. Manaus, Brasil: Aneel; CNPq, 1999. p.96.

KRUSCHE, A. V. *Xingu Project: integrating land use planning and water governance in Amazonia: towards improved freshwater security in the agricultural frontier of Mato Grosso*. Belmont forum project on water security. [S.l.]: FAPESP, 2015. Processo N° 2013/50180-5.

MARENGO, J.A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 78, p. 79–96. DOI: 10.1007/s00704-004-0045-8. 2004.

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 212 p. (Série Biodiversidade, v. 26).

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L.M.; BROWN, F. The drought of Amazonia in 2005. *Jour. of Clim.*, v. 21, n. 1, p. 495-516, Feb. 2008.

MARENGO, J.; SILVA DIAS, P. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. (Org.). *Águas Doces do Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. p.63-109.

MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W.R.; ALVES, L.M. E NOBRE, C.A. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 107, p.73–85. 2012.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

OLIVEIRA, V. P.; MAFRA, M. V. P.; SOARES, A. P. A. Eventos climáticos extremos na Amazônia e suas implicações no município de Manaquiri (AM). *Revista Geonorte*, edição especial 2, v.1, n.5, p. 977 – 987, 2012.

RICHEY, J. E. et al. Sources and routing of the Amazon River flood wave. *Global Biogeochem, Cyc.*, 3, 191-204, 1989.

ROCHA, P. C. Indicadores de alteração hidrológica no alto rio Paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 22, n. 1, p. 191-211, abr. 2010.

SAMPAIO, F. P. R. et al. *Níveis fluviométricos e o custo de vida em cidades ribeirinhas da Amazônia: O caso de Manacapuru e Óbidos*. Associação de Especialistas Latinoamericanos em Sensoriamento Remoto-SELPER Brasil, 2012.

SANTOS, M. L.S.; MUNIZ, K.; BARROS-NETO, B.; ARAUJO, M. Nutrient and phytoplankton biomass in the Amazon River shelf waters. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 80, n. 4, p.703-717, Dec. 2008.

SILVA, E. R. *Abordagem multicriterial difusa como apoio ao processo decisório para a identificação de um regime de vazões ecológicas no baixo curso do Rio São Francisco*. 2010. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2010.

SILVA, I. O. *Distribuição da vazão fluvial no estuário do rio Amazonas*. 2009. 106f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

SIVANAPPAN, R. K. Rain water harvesting, conservation and management strategies for urban and rural sectors. In: NATIONAL SEMINAR ON RAINWATER HARVESTING AND WATER MANAGEMENT. v.11, n.12, p.1. 2006.

SOUZA, E. B. DE; KAYANO M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 81, p. 177–191, 2005.

SOUZA, E. B. de.et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, p.111-124, 2009.

TURNER, J. The instrumental period. In: TURNER, J.; BINDSCHADLER, R.; CONVEY, P.; Di PRISCO, G.; FAHRBACH, E.; GUTT, J.; HOGDSON, D.; MAYEWSKI, P.; SUMMERHAYES, C. (Eds.). *Antarctic climate change and the environment: a contribution to the international polar year 2007-2008*. Cambridge: Victoire Press; Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), 2009. Chapter 1.

VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; THOMAZ, E. L. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. *Rev. Ambient. Água*, Taubaté, v.7, n.3, p.212-227, Dec. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2012000300017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 jul. 2018. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.840>).

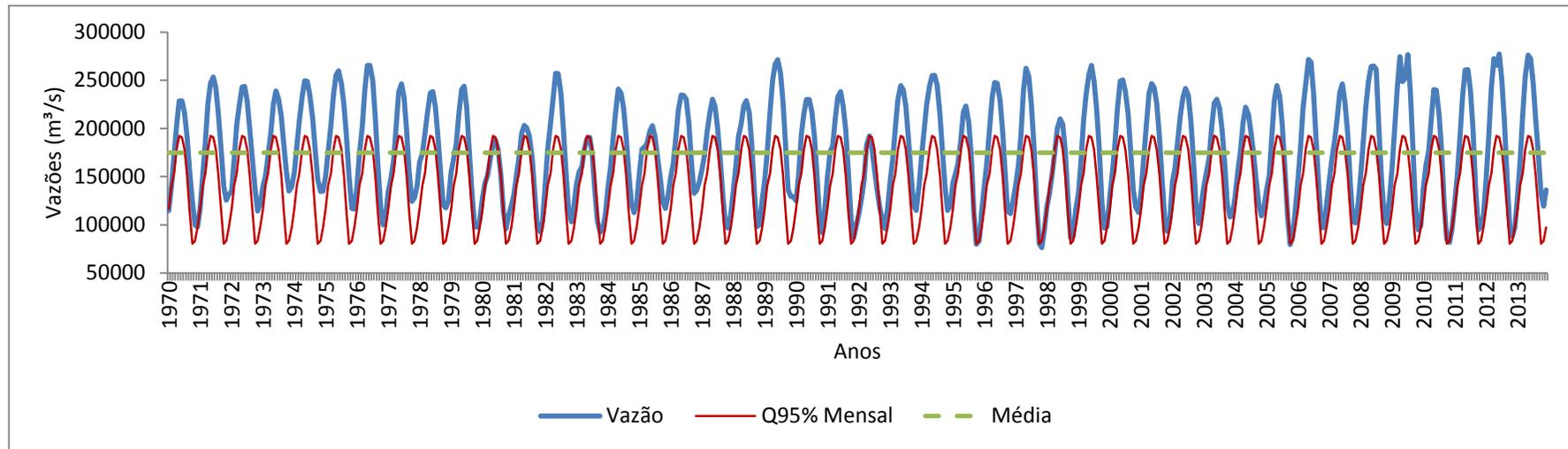
WEISSENBERGER, S.; LUCOTTE, M.; HOUEL, S.; SOUMIS, N.; DUCHEMIN, E.; CANUEL, R. Modeling the carbon dynamics of the la grande hydroelectric complex in Northern Quebec. *Ecological Modelling*. 221, 610-620, 2010.

ZALEWSKI, M.; BREWIŃSKA-ZARAŚ, B.; FRANKIEWICZ, P.; KALINOWSKI, S. The potential for biomanipulation using fry communities in a lowland reservoir: cocordance between water quality and optimal recruitment. *Hydrobiologia*, v. 200/201, p. 549-556, 1990.

ZENG, N. Seasonal cycle and interannual variability in the Amazon hydrologic cycle. *J. Geophys. Res.*, 104, 9097-9106, 1999.

ZENG, N.; YOON, J-H.; MARENGO, J.A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C.A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J.D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environmental Research Letters*, v. 3, 014002 (9f.). DOI: 10.1088/1748-9326/3/1/014002. 2008.

APÊNDICE

APÊNDICE A – GRÁFICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Fonte: Do autor.