



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**MARKS MELO MOURA**

**RELAÇÃO DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA COM A PRECIPITAÇÃO  
E VAZÃO NA BACIA AMAZÔNICA OCIDENTAL**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

MARKS MELO MOURA

**RELAÇÃO DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA COM A PRECIPITAÇÃO  
E VAZÃO NA BACIA AMAZÔNICA OCIDENTAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M929r Moura, Marks Melo, 1987-  
Relação dos fenômenos El Niño e La Niña com a precipitação e  
vazão na bacia amazônica ocidental / Marks Melo Moura. – 2017.  
74 f. : il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.

Coorientador: José Eduardo Macedo Pezzopane.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Sensoriamento remoto. 2. Mudanças climáticas. 3. Fenômenos  
naturais. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. José Eduardo Macedo  
Pezzopane. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de  
Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

---



**RELAÇÃO DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA COM A PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA E VAZÃO NA BACIA AMAZÔNICA OCIDENTAL**

**Marks Melo Moura**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

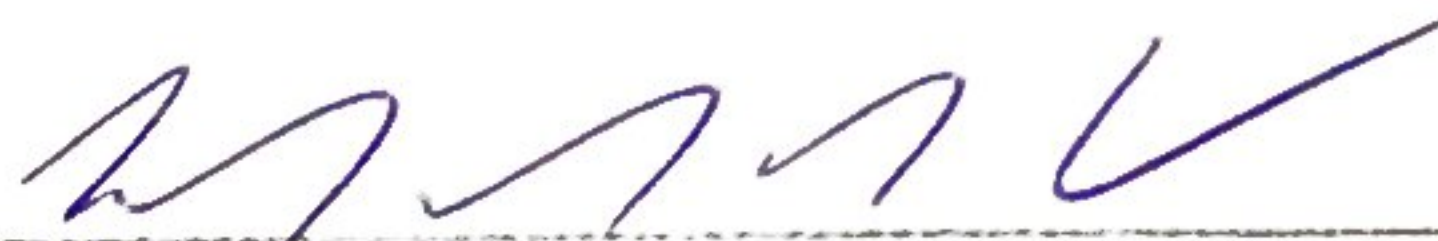
Aprovada em 21 de Julho de 2017.



**Dr. Samuel Ferreira da Silva** (Examinador externo)  
Universidade Federal do Espírito Santo



**Prof. Dr. Rodrigo Sobreira Alexandre** (Examinador interno)  
Universidade Federal do Espírito Santo



**Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane** (Coorientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo



**Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos** (Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo



*"Nem todos aqueles que viajam  
sem rumo estão perdidos"*

J. R. R. Tolkien

## RESUMO

MOURA, Marks Melo. **Relação dos Fenômenos El Niño e La Niña com a Precipitação e Vazão na Bacia Amazônica Ocidental**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

As mudanças nas variáveis climáticas verificadas em períodos com a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña e em períodos neutros podem ser utilizadas para acompanhamento de mudanças nas variáveis climáticas ao longo dos anos nas bacias hidrográficas. Desta forma, objetivou-se avaliar o comportamento individual das vazões de 4 sub-bacias (rio Javari, rio Purus, rio Auatí-Paraná e Lago Coari e rios Javari e Auatí-Paraná), na bacia hidrográfica do rio Amazonas, em função das áreas cobertas por neve em território Peruano, comparando-as com os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, precipitação e evapotranspiração, no período entre janeiro de 2000 a dezembro de 2016. A área de estudo está localizada entre as latitudes 3°9'23"S até 19°28'37"S e longitudes 61°22'03"W até 80°02'54"W. No Brasil foram escolhidas 4 sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do rio Amazonas delimitadas de acordo com as orto-bacias de nível 2 da Agência Nacional de Águas. Foram utilizadas para os dados de vazão 47 estações fluviométricas inseridas dentro das 4 sub-bacias, sendo que, inicialmente as estações foram separadas de acordo com sua localização e, deste modo, as vazões foram analisadas para cada sub-bacia individualmente. Os dados referentes às precipitações pluviométricas foram adquiridos por meio do sensor TRMM (3B43), sendo extraídos inicialmente os valores das precipitações para cada sub-bacia. A evapotranspiração, o Índice Oceânico Niño e a cobertura de neve nos Andes peruanos foram adquiridos, respectivamente, do sensor GLDAS (GLDAS\_NOAH025\_M.020), do sítio NOAA e do sensor MODIS (MOD10A2). Após o pré-processamento inicial dos dados foi realizada regressão linear simples, múltipla, correlação simples e análise de componentes principais. Com base nos resultados obtidos, verificou-se para as 4 sub-bacias uma correlação fraca entre as vazões e as áreas cobertas por neve. Entretanto, as médias das precipitações pluviométricas entre os anos estudados apresentaram um decréscimo nos períodos com a ocorrência do fenômeno El Niño. Para a análise de componentes principais, observou-se uma similaridade entre as vazões, precipitação pluviométrica e área coberta por neve. Neste sentido, as regressões lineares simples demonstraram um maior coeficiente de linearidade entre as vazões e a precipitação para as 4 sub-bacias estudadas. Conclui-se que os índices pluviométricos influenciaram mais fortemente as vazões nas sub-bacias do que as modificações advindas das áreas cobertas por neve. Além disso, os menores valores de vazão foram observados nos períodos com influência do fenômeno El Niño, enquanto os maiores valores para a vazão foram obtidos em períodos neutros. A metodologia proposta pode ser adaptada para outras áreas ou bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, mudanças climáticas, análise temporal.

**ABSTRACT**

MOURA, Marks Melo. **Relation of the El Niño and La Niña Phenomena with a Precipitation and Flow in the Western Amazon Basin.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

The changes in climatic variables verified in periods with the occurrence of El Niño and La Niña phenomena and in neutral periods can be used to monitor changes in climatic variables over the years in the river basins. The objective of this study was to evaluate the individual flow behavior of four sub-basins (rio Javari, rio Purus, rio Auatí-Paraná e lago Coari and rio Javari e Auatí-Paraná), in the Amazonas river basin, Areas covered by snow in Peruvian territory, comparing them with the El Niño and La Niña climatic phenomena, precipitation and evapotranspiration, between January 2000 and December 2016. The study area is located between latitudes 3°9'23"S up to 19°28'37"S and lengths 61°22'03"W to 80°02'54"W. In Brazil, 4 sub-basins were chosen in the Amazonas river basin delimited according to the level 2 ortho-basins of the National Water Agency. For the flow data, we used 47 fluviometric stations inserted within the 4 sub-basins, where the stations were initially separated according to their location and, in this way, the flows were analyzed for each sub-basin individually. Rainfall data were obtained by means of the TRMM sensor (3B43), and the precipitation values were initially extracted for each sub-basin. The evapotranspiration, the Niño Oceanic Index and the snow cover in the Peruvian Andes were acquired, respectively, from the GLDAS sensor (GLDAS\_NOAH025\_M.020), the NOAA site and the MODIS sensor (MOD10A2). After the initial pre-processing of the data, simple, multiple linear regression, simple correlation and principal component analysis were performed. Based on the results obtained, a weak correlation between the flows and the areas covered by snow was verified for the four sub-basins. However, rainfall averages between the years studied showed a decrease in the periods with the occurrence of the El Niño phenomenon. For the analysis of main components, a similarity was observed between the flows, rainfall and area covered by snow. In this sense, simple linear regressions showed a higher coefficient of linearity between flow rates and precipitation for the 4 sub-basins studied. It is concluded that the rainfall indexes had a greater influence on the outflows in the sub-basins than the changes in the areas covered by snow. In addition, the lower values of flow were observed in the periods with influence of the El Niño phenomenon, while the highest values for the flow were obtained in neutral periods. The proposed methodology can be adapted to other areas or river basins.

Keywords: remote sensing, climate change, temporal analysis.

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Descrição dos sensores à bordo das plataformas Terra e Aqua....	21
Tabela 2 – Parâmetros disponíveis do <i>Global Land Data Assimilation System</i> (GLDAS), seguido da unidades e período de obtenção dos dados.....	25
Tabela 3 – Anos de ocorrência dos fenômenos no período de 2000 a 2016 ...	27
Tabela 4 – Descrição dos valores para os produtos MOD10 do sensor MODIS .....	20
Tabela 5 – Especificação da qualidade dos pixels para o produto MOD10A2 .	20
Tabela 6 – Valores do ION para os anos 2000 a 2016, onde os valores em azul indicam médias negativas nos três meses caracterizando eventos de La Niña, valores em vermelho indicam El Niño, os demais apresentam valores que caracterizam a neutralidade, não indicando nenhum dos dois eventos .....	21
Tabela 7 – Classificação da intensidade dos eventos de El Niño e La Niña de acordo com o Índice Oceânico Niño (SOI) .....	22
Tabela 8 – Tabela demonstrativa dos coeficientes de correlação e sua legenda de acordo com os valores encontrados.....	24



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Sistema de referenciamento do sensor MODIS, demonstrando as <i>tiles</i> que recobrem toda a Terra.....	22
Figura 2 – Área de estudo.....	17
Figura 3 – Simplificação dos procedimentos metodológicos .....	26
Figura 4 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Purus, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016 .....	29
Figura 5 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Purus, em relação a área coberta por neve peruanas, no período de 2000 a 2016 .....	30
Figura 6 – Matriz de correlação entre as variáveis da sub-bacia do rio Purus .	31
Figura 7 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Javari, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016 .....	33
Figura 8 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Javari, em relação a área coberta por neve peruanas, no período 2000 a 2016 .....	34
Figura 9 – Matriz de correlação entre as variáveis na sub-bacia hidrográfica do rio Javari.....	35
Figura 10 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Auatí-Paraná, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016 .....	37
Figura 11 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do Auatí-Paraná, em relação a área coberta por neve peruanas, no período 2000 a 2016 .....	38
Figura 12 – Matriz de correlação entre as variáveis na sub-bacia hidrográfica do rio Javari e Auatí-Paraná.....	39
Figura 13 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016 .....	41
Figura 14 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Javari e Auatí-Paraná, em relação a área coberta por neve peruanas, no período 2000 a 2016 .....	42

Figura 15 – Matriz de correlação entre as variáveis na sub-bacia hidrográfica do rio Javari e Auatí-Paraná.....	43
Figura 16 – Representação da média da vazão no período de alta vazão para os anos neutros (A), média da vazão em período de alta vazão e presença da La Niña (B), média da vazão em período de alta vazão e presença do El Niño (C), média da vazão em período de baixa vazão em anos neutros (D), média da vazão em período de baixa vazão e presença da La Niña (E) e média da vazão em período de baixa vazão e presença do El Niño(F) .....	44
Figura 17 – Diferença entre período neutro e El Niño em meses de alta vazão (A), neutro e El Niño em baixa vazão (B), neutro e La Niña em meses de alta vazão (C) e neutro e La Niña em meses de baixa vazão (D).....	46
Figura 18 – Distribuição espacial entre os períodos com maiores e menores índices pluviométricos, onde, A - período neutro em meses mais chuvosos, B - período com influência de La Niña em meses mais chuvosos, C - período com influência do El Niño em meses mais chuvosos, D - período neutro em meses menos chuvosos, E - período com influência de La Niña em meses menos chuvosos e F - período com influência de El Niño em meses menos chuvosos .....	47
Figura 19 – Diferença do índices pluviométricos entre El Niño e período neutro em meses mais chuvosos (A) e menos chuvosos (C), La Niña e período neutro em meses mais chuvosos (B) e menos chuvosos (D).....	49
Figura 20 – Distribuição espacial da evapotranspiração entre os períodos com maiores e menores índices pluviométricos, onde, A - período neutro em meses mais chuvosos, B - período com influência de La Niña em meses mais chuvosos, C - período com influência do El Niño em meses mais chuvosos, D - período neutro em meses menos chuvosos, E - período com influência de La Niña em meses menos chuvosos e E - período com influência de El Niño em meses menos chuvosos.....	51
Figura 21 – Diferença da evapotranspiração entre El Niño e período neutro em meses mais chuvosos (A) e menos chuvosos (C), La Niña e período neutro em meses mais chuvosos (B) e menos chuvosos (D).....	52
Figura 22 – Representação das regressões lineares, regressões múltiplas, e análise de componentes principais para as quatro sub-bacias .....	54

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2.1. Objetivo Geral .....	14
2.2. Objetivos Específicos .....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
3.1. Sensoriamento remoto .....	15
3.2. Sensoriamento remoto aplicado em geleiras .....	15
3.3. Sensoriamento remoto aplicado a variáveis climáticas .....	16
3.4. <i>Tropical Rain Measuring Mission</i> .....	18
3.5. <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i> .....	20
3.5.1. Produto MOD10 .....	22
3.6. <i>Global Land Data Assimilation System</i> .....	23
3.7. Andes Peruanos .....	24
3.8. Eventos El Niño e La Niña .....	26
4. METODOLOGIA .....	17
4.1. Localização da área de estudo .....	17
4.2. Dados fluviométricos .....	17
4.3. Dados pluviométricos .....	18
4.4. Evapotranspiração .....	19
4.5. Cobertura de neve .....	19
4.6. Índice Oceânico Niño .....	21
4.7. Estatísticas .....	22
4.7.1. Regressão linear .....	22
4.7.2. Regressão múltipla .....	22
4.7.3. Correlação linear simples .....	24
4.7.4. Análise de componentes principais .....	25

	VIII
4.8. Fluxograma metodológico.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
5.1. Análise das variáveis nas sub-bacias hidrográficas.....	27
5.1.1. Sub-bacia do rio Purus .....	27
5.1.2. Sub-bacia do rio Javari .....	31
5.1.3. Sub-bacia do rio Auatí-Paraná.....	35
5.1.4. Sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná .....	39
5.2. Comparação das vazões nos períodos neutro, El Niño e La Niña...	43
5.3. Análise da precipitação em períodos neutros, El Niño e La Niña ....	46
5.4. Análise da evapotranspiração em períodos neutros, El Niño e La Niña .....	49
5.5. Análise estatística .....	53
6. CONCLUSÕES .....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
I. Apêndice I .....	63



## 1. INTRODUÇÃO

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a estudos ambientais, veem sendo difundidas e aperfeiçoadas visando a análise e caracterização das variáveis que atuam sob o ambiente. Diversas variáveis climáticas podem ser obtidas ou estimadas por meio de dados orbitais, algumas delas com longas séries temporais, o que facilita a observação das características ao longo do tempo.

Em adição, as séries temporais podem ser monitoradas em grandes áreas repetidamente, pelo mesmo sensor, com intervalos temporais constantes, atributo que Moreira (2011) cita como principal característica dos dados orbitais. Outro ponto abordado pelo autor é a relativa facilidade na obtenção e manipulação dos dados, e os variados resultados que podem ser obtidos.

Deste modo, séries temporais são fundamentais para as observações de fenômenos que não possuem sazonalidade definida, como exemplo os fenômenos El Niño e La Niña, que possuem ocorrências em intervalos indefinidos. Tais eventos, são as fontes principais de algumas mudanças interanuais no clima, não só no Brasil, como em outras regiões do planeta (TRENBERTH, 1997).

Neste cenário, a presença dos fenômenos alteram os regimes pluviométricos, acarretando diversos problemas nas regiões brasileiras, como é o caso de eventos extremos de seca no norte do país mais especificamente na Amazônia (MARENGO *et al.*, 2008), alterações no regime hídrico na região sudeste (FERNANDO *et al.*, 2013) e centro oeste (OLIVEIRA, MARCUZZO e BARROS, 2015).

Entretanto, os maiores impactos ocasionados pelos fenômenos (El Niño e La Niña) são observados na região Amazônica, com alterações nos regimes pluviométricos e fluviométricos. Eventos de cheias e secas são frequentemente relacionados com um dos fenômenos, tais eventos propiciam modificações na quantidade e intensidade das chuvas e, conseqüentemente, aumento ou redução dos níveis dos rios. Estas alterações promovem modificações nas comunidades ribeirinhas, vegetação, atividades econômicas e principalmente no clima da região (Li *et al.*, 2010).

A Floresta Amazônica e o ciclo hidrológico possuem forte influência nos processos de evapotranspiração, interceptação e escoamento superficial, sendo afetados pelas mudanças nos regimes pluviométricos, além dos baixos índices nas precipitações pluviométricas por períodos prolongados, o que tende a reduzir o vigor vegetativo (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012), aumentando a evaporação (SANTOS *et al.*, 2017) e provocando alterações significativas nas vazões e nos níveis dos afluentes no rio Amazonas (FOLEY *et al.*, 2002).

Contudo, os afluentes que formam a bacia hidrográfica do rio Amazonas são provenientes de áreas com características climáticas diversas, como é o caso de sua nascente principal, com origem nas cadeias glaciais dos Andes em território Peruano. Ainda de acordo com Assayag (2015), as alterações nestas geleiras têm afetado não só os países Andinos, mas também o Brasil, uma vez que a região dos Andes Peruanos contém nascentes e afluentes do rio Amazonas, que formam importantes sub-bacias hidrográficas localizadas no território brasileiro.

Neste sentido, o monitoramento das vazões ao longo do tempo é primordial na prevenção ou predição de eventos extremos. Portanto, a observação desta variável conjuntamente com os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, visam o entendimento do comportamento das vazões frente a influência destes eventos, ligado a outras variáveis (precipitação e evapotranspiração).

Dentre outras variáveis que compõe o ciclo hidrológico da região, uma das mais importantes é a evapotranspiração. Foi abordada por Andam-Akorful *et al.* (2014), como uma das variáveis determinantes nas recargas dos aquíferos, no ciclo de carbono e no escoamento superficial. Segundo Silva, Lucio e Brown (2015) este componente tem sido modificado gradativamente, com alterações antrópicas na vegetação, temperatura do ar e oceano.

Neste âmbito, a bacia hidrográfica do rio Amazonas que se estende por 9 estados brasileiros e mais 8 países da América do Sul, está no auge das preocupações com o clima global. Dada sua importância, estudar suas sub-bacias torna-se primordial tanto no monitoramento, quanto na prevenção de desastres naturais (SERRÃO *et al.*, 2015).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar o comportamento das vazões de quatro sub-bacias da região Amazônica, junto as áreas cobertas por neve em território Peruano, comparando-as com os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, precipitação e evapotranspiração, no período compreendido entre janeiro de 2000 a dezembro de 2016.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar o comportamento individual das vazões de quatro sub-bacias (rio Javari, rio Purus, rio Auatí-Paraná e Lago Coari e rios Javari e Auatí-Paraná), na bacia hidrográfica do rio Amazonas, em função das áreas cobertas por neve em território Peruano;
- Analisar as alterações nas variáveis climáticas (precipitação e evapotranspiração) que ocorrem em decorrência dos fenômenos El Niño e La Niña;
- Comparar as alterações das vazões, nos anos com influência dos fenômenos climáticos, El Niño e La Niña;
- Comparar a precipitação, evapotranspiração e vazão nos períodos com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, com períodos neutros;
- Verificar as alterações ocorridas nas 4 sub-bacias em consequência da influência dos fenômenos El Niño e La Niña; e,
- Analisar as mudanças nas vazões com redução ou aumento das áreas cobertas por neve em território Peruano.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto (SR) tem como definição a aquisição de informações sobre objetos, sem que seja necessário o contato direto com eles, que podem ser obtidas a partir de sinais ópticos, acústicos e de radiação eletromagnética (MOREIRA, 2011).

Enquanto a radiação eletromagnética (REM) pode ser definida como a propagação de energia, por meio da variação temporal dos campos elétrico e magnético da onda portadora (SCHOWENGERDT, 2012). Existem duas fontes naturais de REM, a primeira e mais importante é a proveniente do Sol interagindo de três formas distintas com os elementos terrestres: podendo ser absorvida, refletida ou transmitida (MOREIRA, 2011). A segunda fonte é denominada radiação de Planck ou radiação de corpos negros, sendo emitida por todos os corpos que estão acima do zero absoluto (REES, 2010).

Imagens provenientes do SR têm aplicações diversificadas que vão do âmbito médico, militar, ambiental até a observação de características terrestres. As variáveis ambientais podem ser analisadas de forma global, e as mais estudadas são temperatura do ar, precipitação pluvial, distribuição e classificação de nuvens, velocidade do vento, concentração de gases e vapor d'água, classificação do uso e ocupação da terra, florestas e criosfera (REES, 2001).

De acordo com Moreira (2011), os satélites mais usados são *Landsat*, NOAA, SPOT, QUICKBIRD, IKONOS e CBERS. O objetivo principal desses satélites é a observação e monitoramento dos recursos terrestres, tendo como exceção o satélite NOAA, que tem como finalidade estudos climáticos e atmosféricos.

#### **3.2. Sensoriamento remoto aplicado em geleiras**

O SR capta informações ou combinações de propriedades da radiação eletromagnética detectada pelos sensores. Portanto os dados captados podem



conter diversas informações como, por exemplo, áreas cobertas por neve ou gelo. As áreas cobertas com neve podem ser obtidas por métodos distintos, em razão da elevada reflectância da neve em comparação a outros alvos (REES, 2010).

Nas análises de Paul et al. (2002) verificaram-se que o comportamento espectral da neve nos comprimentos de ondas visíveis tem uma elevada refletividade, contudo há uma redução na faixa do infravermelho próximo. Deste modo a reflectância do gelo é maior nas bandas do azul (0,45 - 0,51  $\mu\text{m}$ ) e do verde (0,53 - 0,59  $\mu\text{m}$ ), enquanto na banda do vermelho (0,64 - 0,88  $\mu\text{m}$ ) há uma redução nos valores (PANDEY; RAMANATHAN; VENKATARAMAN, 2015).

A versatilidade e o conjunto de ferramentas que o SR proporciona a cerca das áreas cobertas com gelo são utilizadas para diversas finalidades (ERDENETUYA *et al.*, 2006; RACOVITEANU; WILLIAMS; BARRY, 2008; RAUP *et al.*, 2007). Além disso, existe uma grande variedade de satélites que podem ser utilizados para o mapeamento e monitoramento glacial, como por exemplo o ALOS, *Landsat*, NOAA e Sentinel (REES, 2010).

### **3.3. Sensoriamento remoto aplicado a variáveis climáticas**

As técnicas de coleta e análise de dados climáticos que em sua maioria são coletados em estações meteorológicas, não são capazes de suprir de maneira satisfatória determinadas áreas, impossibilitando uma análise detalhada do clima em determinada região. Entretanto, a partir da aprimoramento das geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto, desenvolveram-se técnicas promissoras que são utilizadas como apoio para análises climáticas (PEREIRA, C. C. *et al.*, 2016).

Os dados provenientes de imagens de satélites apresentam vantagens por serem mais homogêneos que os coletados em estações convencionais, fornecem maior frequência de informações sobre a cobertura, e permitem análise de dados em alta resolução espacial e temporal em áreas inóspitas ou desabitadas do mundo, sobretudo os desertos, oceanos e geleiras que são minimamente monitorados por estações (VARIKODEN; SAMAH; BABU, 2010).

O início do SR com objetivo específico em variáveis climáticas se deu em 1959 com o lançamento do satélite Explorer VII que possuía o objetivo de mensurar o balanço de energia da Terra utilizado para estudos do equilíbrio térmico entre a Terra e a atmosfera, ele transmitiu dados continuamente até fevereiro de 1961 e foi desativado em 24 de agosto de 1961. Em 1960, foi lançado o *Television Infrared Observation Satellite* (TIROS) que objetivou aperfeiçoar as aplicações dos satélites nas tomadas de decisões em casos extremos como ciclones e furacões, funcionou durante 3 meses gerando mais de 23 mil imagens utilizadas para montar pela primeira vez cartas sinóticas com imagens de satélite (FLORENZANO, 2011; NASA, 2017).

Foram lançados mais 8 satélites TIROS (1 a 9) entre os anos de 1960 a 1967. Em 1978, a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) lançou o programa TIROS - N (TIROS - *Next generation*) que contava com 2 sensores, o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) que revolucionou as observações climáticas utilizando imagens noturnas, e o *TIROS Operational Vertical Sounder* (TOVS) que adquiria informações dos perfis verticais de temperatura e umidade da superfície até o topo da atmosfera, ficou em operação durante 868 dias, sendo desativado em fevereiro de 1981 (FLORENZANO, 2011; NOAA, 2017a).

O *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) foi lançado em julho de 1972 e possuía como objetivo a observação dos recursos terrestres, posteriormente o programa foi renomeado para *Landsat*, foi sucedido por mais 7 satélites (1 a 8), o ERTS foi o responsável pela primeira informação via satélite do desmatamento na Amazônia (CNPM, 2017).

Em 1975 foi lançado o *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), a partir deste foram lançados mais 14 (1 a 15), todos utilizados na previsão do tempo, rastreamento de tempestades e pesquisas meteorológicas. Os satélites dessa geração e as estações em terra atuam em conjunto para fornecer um conjunto contínuo de dados ambientais (NASA;NOAA, 2017).

Ao longo dos anos os satélites passaram a levar à bordo diversos sensores, oferecendo sempre aprimoramentos nas resoluções espaciais e temporais, vários outros satélites estão sendo desenvolvidos e utilizados nas observações das variáveis climáticas como o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), *Cloudsat*, entre outros.

Sendo assim, a utilização de dados espaciais na observação das características climáticas, é primordialmente utilizado no monitoramento dos sistemas terrestres (hidrosfera, litosfera, atmosfera, biosfera e criosfera), pois, a abrangência cada vez maior dos sensores possibilita a caracterização e avaliação dos sistemas de forma regional ou global.

O estudo do clima através do SR contribui para observação e caracterização dos fenômenos atmosféricos, que afetam diretamente o clima, devido a sua grande cobertura espacial é muito utilizado em previsões do tempo, modelagem climática, auxílio na tomada de decisões, mudanças climáticas, entre outros. As variáveis climáticas mais observadas e estudadas são: precipitação, temperatura, características e movimentação das nuvens, radiação solar e umidade (FLORENZANO, 2008, 2011).

### **3.4. *Tropical Rain Measuring Mission***

A NASA em 1980 iniciou uma pesquisa que visava mensurar as precipitações pluviais em regiões tropicais, e em 1984 propôs a criação e desenvolvimento do satélite designado *Tropical Rain Measuring Mission* (TRMM), do qual seria acoplado um radar de precipitação (PR). O projeto foi desenvolvido em conjunto entre a NASA e *Japan Aerospace Exploration* (JAXA), este último responsável pelo o foguete *H-to* utilizado no lançamento para órbita terrestre em 1997 (KUMMEROW, CHRISTIAN, 1998; KUMMEROW, *et al.*, 2000).

Kummerow *et al.* (2000) evidenciou a precipitação, como uma variável climática mais afetada com variações no espaço e no tempo. Sendo assim, informações referentes às distribuições pluviométricas demandam grande quantidade de estações meteorológicas. No entanto, as estações estão mal distribuídas em todo globo terrestre e algumas delas com falhas, portanto refletem diretamente na qualidade dos dados, podendo gerar indicadores tendenciosos limitando a compreensão da distribuição pluviométrica em áreas extensas (TAPIADOR *et al.*, 2012).

De outro modo, a utilização de dados provenientes de satélites, por meio do SR, tende a incrementar a estimativa espacial das precipitações pluviométricas (MASIH *et al.*, 2011), desenvolvendo assim, estimativas e

previsões eficientes em regiões que não possuem estações de coleta de dados pluviométricos, ou que sejam de difícil acesso (MORENO; VIVONI; GOCHIS, 2012).

O satélite TRMM juntamente com o PR possui os objetivos: obter informações significativas da precipitação, provê a distribuição pluviométrica e utilizá-la em modelos preditivos de mudanças climáticas, auxiliar no entendimento e previsão de eventos climáticos promovidos pelo El Niño e La Niña e avaliar a variabilidade das precipitações tropicais em escala global ( KUMMEROW, C. *et al.*, 2000; DISC, 2017;).

Além do PR, o TRMM transporta um conjunto de outros instrumentos como o imagiador de micro-ondas (TMI), radiômetro do visível e infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e nuvens (CERES) e sensor de imageamento de relâmpagos (LIS). Possui órbita oblíqua não-heliossíncrona com baixa altitude, operando em 350 km de altitude elevando-a para 403 km após 2001, essa alteração permitiu que o satélite abrangesse uma área que vai de 50°N até 50°S, gerando avanços em sua resolução espacial (DISC, 2017)

Nóbrega, Souza e Galvíncio (2008), relatam que a utilização dos sensores orbitais na estimativa da pluviosidade é uma alternativa relevante disponibilizada gratuitamente, que possui dados diários, mensais e anuais da região tropical terrestre. A correlação dos dados obtidos nas estações meteorológicas convencionais e automáticas com dados obtidos através do TRMM, foi observada e avaliada no estado do Amazonas por Almeida *et al.* (2015), evidenciando a confiabilidade das informações provenientes do satélite.

Nastos, Kapsomenakis e Philandras (2016), demonstraram em suas pesquisas, que mesmo possuindo diferenças nas médias diárias se comparando dados do TRMM e estações meteorológicas, elas não afetavam significativamente as médias mensais, sendo assim, os dados provenientes do TRMM foram classificados pelos autores como satisfatórios.

Diante do exposto, os dados provenientes do satélite TRMM possuem diferenças em comparação com as estações meteorológicas, porém aceitáveis, e podem estar relacionadas às escalas observadas, pois os satélites trabalham com escalas globais, onde a estimativa da precipitação de determinado local está condicionada ao tamanho do pixel ou sensibilidade do sensor que irá mensurar tal característica (NERINI *et al.*, 2015; WENTZ, 2015).



### 3.5. *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um dos instrumentos lançados pela *National Aerospace and Space Administration* (NASA) incluso nos satélites Terra e Aqua (anteriormente conhecidos como EOS AM-1 e EOS PM-1, respectivamente). O satélite Terra, lançado em 18 de dezembro de 1999, orbita do norte ao sul cruzando a linha do equador no período matutino, aproximadamente as 10:30, enquanto o Aqua lançado em 4 de maio de 2002 faz órbita inversa, cruzando a mesma linha no período vespertino, aproximadamente as 13:30. Sendo assim, Terra e Aqua monitoram a superfície terrestre em um período de um a dois dias com disponibilidade de 36 bandas espectrais (NASA, 2016).

Esses sensores fornecem imagens com resolução espacial de 250, 500 e 1,000 metros, com resolução espectral variando de 620 nanômetros a 14,385 micrômetros. As imagens podem ser geradas com uma frequência diária e cobrem uma vasta área geográfica (aproximadamente 2,300 x 2,300 km por cena). Os dados obtidos por estes satélites promovem o conhecimento das dinâmicas e processos globais, incluindo os oceanos, atmosfera e continentes, preditando a modelagem de sistemas de decisões e proteções ambientais (NASA, 2016).

A viabilidade dos dados obtidos através do sensor MODIS promovem um grande número de aplicações, viabilizando pesquisas relacionadas com a dinâmica da atmosfera e dos oceanos, dentre eles: reflectância da superfície terrestre, temperatura da superfície e emissividade, cobertura e mudança no uso da terra, índices de vegetação, anomalias térmicas, índice de área foliar, evapotranspiração, fotossíntese líquida, mudança na cobertura vegetal, dentre outros (RUDORFF, SHIMABUKURO e CEBALLOS, 2007).

A Tabela 1 demonstra todos os sensores à bordo dos satélites Aqua e Terra, seguidos de uma breve discussão das características de cada sensor.

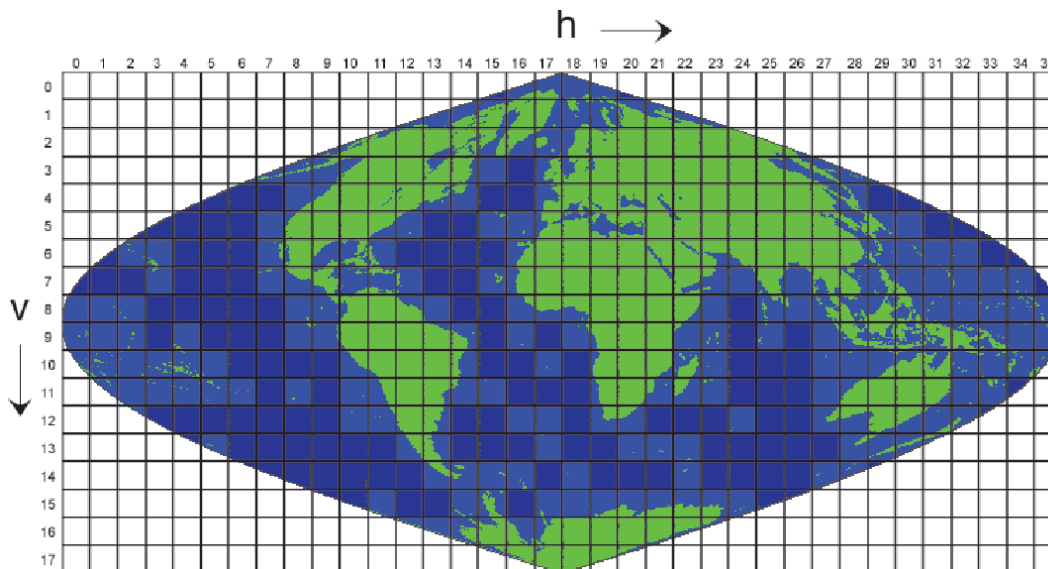
Tabela 1 – Descrição dos sensores à bordo das plataformas Terra e Aqua

Plataforma	Sensores	Descrição
<b>Terra</b>	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)</i>	Único instrumento de alta resolução da plataforma Terra. Utilizado na observação de mudanças de cobertura, calibração e validação em análise de processos da superfície terrestre.
	<i>Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)</i>	Utilizado na medição do balanço de radiação da Terra e estimativa de propriedades das nuvens.
	<i>Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer (MISR)</i>	Utilizado na obtenção de aerossóis atmosféricos, quantidade e tipos de nuvens e distribuição espacial de aspectos da superfície terrestre.
	<i>Measurement Pollution in the Troposphere (MOPITT)</i>	Concebido para melhorar o conhecimento sobre a baixa atmosfera e a sua interação com a biosfera terrestre e marítima. Utilizado para análise, transporte, fonte e sumidouro de monóxido de carbono (CO) e metano (CH <sub>4</sub> ).
<b>Aqua</b>	<i>Atmospheric Infrared Sounder (AIRS)</i>	Utiliza o espectro eletromagnético para obtenção de perfis de temperatura da atmosfera.
	<i>Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU-A)</i>	Obtém perfis verticais de temperatura da estratosfera e troposfera
	<i>Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E)</i>	Utilizado para medir taxas de precipitação, água nas nuvens, temperatura da superfície do mar, gelo, neve e umidade do solo.
	<i>Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)</i>	Utilizado na medição do balanço de radiação da Terra e estimativa de propriedades das nuvens.
	<i>The Humidity Sounder for Brazil (HSB)</i>	Obtém perfis verticais de umidade atmosférica, fornece perfis de umidade em diversas altitudes, mesmo em condições de cobertura densa de nuvens e névoa.

Fonte: adaptado de Rudorff, Shimabukuro e Ceballos (2007).

Os produtos MODIS estão disponíveis em projeção Sinusoidal e são divididos em quadrantes, com mesma área e tamanho denominados de *tiles* que possuem dimensões de 10 x 10 graus (1.200 x 1.200 km), o que facilita a correlação entre os dados e a sua localização na Terra, cada *tile* possui uma referência numérica vertical e horizontal como mostra a Figura 1, para recobrimento total da Terra são necessárias 460 *tiles*.

Figura 1 – Sistema de referenciamento do sensor MODIS, demonstrando as *tiles* que recobrem toda a Terra



Fonte: NASA (2016).

Todos os produtos oriundos dos sensores Aqua e Terra, originalmente são disponibilizados no formato *Hierarchical Data Format* (HDF), que posteriormente podem ser convertidos para formatos escolhidos pelo usuário.

### 3.5.1. Produto MOD10

A cobertura de neve (MOD10) que possui resolução espacial de 500m é baseado no mapeamento da neve por meio do *Normalized Difference Snow Index* (NDSI), índice usado na diferenciação das áreas cobertas por neve (Equação 1). Possui como principal característica a diferenciação da neve com as nuvens, e outros componentes da paisagem. Ocorre pelo fato das nuvens terem uma reflectância alta na região do espectro na banda do infravermelho próximo (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ ), ou seja, torna-se mais luminosa aos olhos humanos, em contrapartida, a neve tem comportamento inverso, tornando-se assim menos luminosa (DOZIER, 1989; HALL, RIGGS e SALOMONSON, 1995).

$$\text{NDSI} = \frac{\text{Green} - \text{NIR}}{\text{Green} + \text{NIR}} \quad (1)$$

Em que,

Green: banda verde;

NIR: banda do infravermelho próximo.

### **3.6. Global Land Data Assimilation System**

O *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS) foi desenvolvido conjuntamente por cientistas do *Goddard Space Flight Center* (GSFC), *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Possui objetivo principal a utilização dos sistemas de observação terrestre e espacial, para geração de modelos da superfície terrestre. O processamento dos dados são feitos de duas maneiras: criação de modelos de superfície terrestre (LSMs) através de dados meteorológicos baseados em observação e aplicação de simulações dos dados (RODELL *et al.*, 2004).

O desenvolvimento dos produtos GLDAS fornecem a capacidade de predição de variáveis da superfície terrestre, atmosféricas e do clima. Portanto, tem importância na composição de banco de dados para análises e aplicações subsequentes que melhoram o entendimento e a avaliação da estrutura espaço-temporal das interações solo-atmosfera e o papel da superfície do solo na regulação de variáveis hidrológicas e climáticas (RODELL *et al.*, 2004).

O *National Oceanic and Atmospheric Administration's* NOAA (NOAH LSM) é um componente básico do GLDAS/Noah, utilizado na simulação da umidade do solo, temperatura do ar e superfície, teor de água no dossel e os termos de fluxo de energia e água (YANG *et al.*, 2013).

O conjunto de dados disponíveis para o GLDAS-2.0, possuem resoluções de 0,25° e 1°, gerados através da média temporal dos dados de três horas e mensais, sendo que estes dados estão disponíveis desde 1948 (GESDISC, 2017). Todos os parâmetros fornecidos através do GLDAS, estão especificados na Tabela 2.



Dentre os parâmetros, a evapotranspiração total é uma das variáveis mais utilizadas e testadas, afim de comprovar os valores obtidos através dos modelos GLDAS. Meixia Lv *et al.* (2017) obtiveram valores acima de 86% de acurácia entre a evapotranspiração obtida através do GLDAS e a evapotranspiração calculada por meio da equação de Penman-Monteith para três bacias na China. Park (2014), utilizou os dados disponíveis para estimar a evapotranspiração de referência na Península coreana. (Andam-Akorful *et al.*, 2014), comparou os dados de evapotranspiração do MODIS, GLDAS e *Terrestrial Water Budget* (TWB), concluindo que não houve diferenças significativas entre os dados, para a bacia Volta localizada no oeste africano.

### 3.7. Andes Peruanos

Os Andes tropicais, conhecido por cordilheira dos Andes, possui aproximadamente 10.000 km de comprimento, dos quais 4,000 km estão inseridos na bacia Amazônica, abrangendo a Argentina, Chile e Venezuela e, em maiores proporções, a Bolívia, Colômbia, Equador e Peru (RIBEIRO; SIMÕES; DANI, 2010).

As condições climáticas Andinas vêm sendo modificadas. Um incremento de 0,7°C ocorreu entre 1939 e 2006, entretanto esse aumento varia de acordo com a altitude e declividade da região (VUILLE, 2013). Desse modo, o incremento na temperatura é vital para entendimento da redução das geleiras andinas.

Aproximadamente 70% das geleiras tropicais estão localizadas no Peru, onde 2,600 km<sup>2</sup> são cobertos por neve (MORALES-ARNAO, 1999). São distribuídas em 20 cordilheiras, sendo a mais expressiva a Cordilheira Blanca que ocupa cerca de 723 km<sup>2</sup>, seguida da Vilcanota com 539 km<sup>2</sup>, abrangendo juntas um quarto das geleiras tropicais (VUILLE; KASER; JUEN, 2008).

De acordo com Assayag (2015) as alterações nas geleiras têm afetado não só os países Andinos, mas também o Brasil, uma vez que a região dos Andes Peruanos contém nascentes e afluentes do rio Amazonas, que formam, duas importantes sub-bacias hidrográficas dos rios Solimões e Madeira localizadas no território brasileiro.

Tabela 2 – Parâmetros disponíveis do *Global Land Data Assimilation System (GLDAS)*, seguido da unidades e período de obtenção dos dados

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Período</b>
<i>Surface pressure</i> (Pressão na superfície)	Pa	Instantâneo
<i>Near Surface air temperature</i> (Temperatura do ar próximo à superfície)	K	Instantâneo
<i>Near surface Wind magnitude</i> (Velocidade do vento próximo à superfície)	m s <sup>-1</sup>	Instantâneo
<i>Near surface specific humidity</i> (Umidade específica próxima à superfície)	kg kg <sup>-1</sup>	Instantâneo
<i>Total evapotranspiration</i> (Evapotranspiração total)	Kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Snow water equivalente</i> (Água contida na neve)	kg m <sup>-2</sup>	Instantâneo
<i>Total canopy water storage</i> (Total de água armazenada no dossel)	kg m <sup>-2</sup>	Instantâneo
<i>Average layer soil temperature</i> (Temperatura média do solo)	K	Instantâneo
<i>Average layer soil moisture</i> (Umidade média do solo)	kg m <sup>-2</sup>	Instantâneo
<i>Snowmelt</i> (Degelo)	kg m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Net shortwave radiation</i> (Saldo de radiação de ondas curtas)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Net longwave radiation</i> (Saldo de radiação de ondas longas)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Latent heat flux</i> (Fluxo de calor latente)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Sensible heat flux</i> (Fluxo de calor sensível)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Snow fall rate</i> (Taxa de neve)	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Rainfall rate</i> (Precipitação)	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Average surface temperature</i> (Temperatura média da superfície)	K	Instantâneo
<i>Ground heat flux</i> (Fluxo de calor no solo)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Surface incidente shortwave radiation</i> (Incidência de radiação de onda curta na superfície)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Surface incident longwave radiation</i> (Incidência de radiação de onda longa na superfície)	W m <sup>-2</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Subsurface runoff</i> (Escoamento de subsuperfície)	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Média das últimas 3 horas
<i>Surface runoff</i> (Escoamento superficial)	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Média das últimas 3 horas

Fonte: Adaptado de GESDISC (2017).

### 3.8. Eventos El Niño e La Niña

El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno modificador das condições climáticas regionais e globais, originado na região do oceano Pacífico equatorial (STOCKDALE et al., 2010). O aquecimento dessa região oceânica é sua principal característica, em oposição aos eventos de La Niña que são caracterizados por infrequentes temperaturas baixas. Ambos os fenômenos são responsáveis por importantes mudanças na intensidade e ocorrência das precipitações pluviais (HERRERA; CORREA, 2016).

Segundo Santos (2006) os principais efeitos do El Niño/La Niña são o aumento ou redução da salinidade, temperatura e nível do oceano, temperatura do ar e mudanças na precipitação e evaporação nas regiões de abrangência dos fenômenos.

Dettinger e Diaz (2000) encontraram uma correlação positiva entre o El Niño e as precipitações pluviais em 1345 locais na América, Europa e Austrália. No mesmo estudo constatou-se a redução das chuvas no período de inverno e primavera na parte leste da Austrália e Américas, e na Europa houve efeito inverso no mesmo período. Neste sentido, Power (2005) afirma que anos de ocorrência de La Niña apresentam características inversas às do El Niño.

Neste contexto, informações oceânicas são geralmente adotadas para monitoramento do ENOS, pois essas são consideradas ótimas precursoras e essenciais para o entendimento do fenômeno (FUJII *et al.*, 2012). Dispondo desses indicadores é possível avaliar a sazonalidade e características deste fenômeno. Comumente inicia-se no segundo semestre de um determinado ano e termina no final do primeiro semestre do ano seguinte.

Muitos indicadores foram desenvolvidos para monitoramento do ENOS com destaque para o Índice Oceânico Niño (ION), desenvolvido por Trenberth (1984); *Multivariate ENOS Index* (MEI), implementado por Wolter e Timlin (1993) a partir de estudos com tendências climáticas. Para este trabalho será utilizado o ION, uma vez que este índice considera anormalidades de ambos os fenômenos El Niño e La Niña. Penalba e Rivera (2016) utilizaram o mesmo índice para estudo de evolução temporal de precipitações pluviais na América do Sul, no período de 1961 a 2008.

Na Tabela 3 é mostrada a série de anos onde foram registradas anomalias nas temperaturas da superfície do oceano indicando a ocorrência dos eventos El Niño e La Niña no período entre 2000 e 2016.

Tabela 3 – Anos de ocorrência dos fenômenos no período de 2000 a 2016

<b>Fenômeno</b>	<b>Anos de ocorrência</b>
La Niña	2000 – 2001
El Niño	2002 – 2003
El Niño	2005 – 2006
La Niña	2007 – 2008
El Niño	2009 – 2010
La Niña	2010 – 2011
El Niño	2015 – 2016

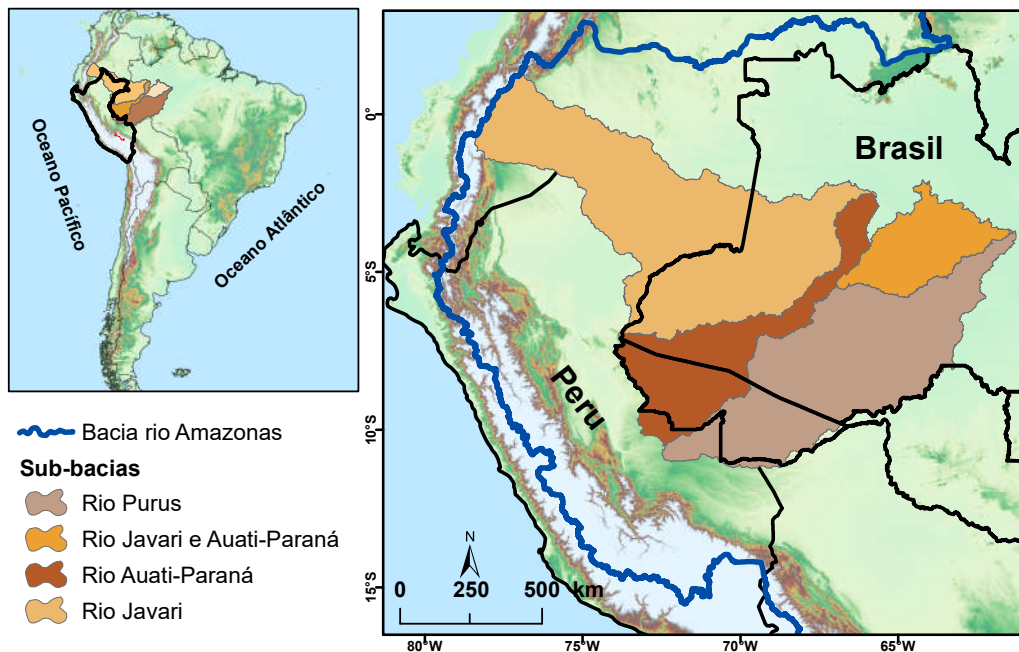
Fonte: adaptado de INPE (2016).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Localização da área de estudo

A área de estudo encontra-se em território brasileiro e peruano, delimitada de acordo com os limites da bacia Amazônica nos dois países, região entre as Latitudes 3°9'23"S até 19°28'37"S e Longitudes 61°22'03"W até 80°02'54"W. No Brasil foram escolhidas as sub-bacias do rio Javari, rio Purus, rio Auati-Paraná e Lago Coari e rios Javari e Auati-Paraná todas inseridas na bacia Amazônica delimitadas de acordo com as orto-bacias de nível 2 da ANA (Figura 2).

Figura 2 – Área de estudo



Fonte: adaptado de ANA (2014) e IBGE (2015)

### 4.2. Dados fluviométricos

Os dados referentes às vazões dos rios no período de anos estudados (2000 a 2016), foram adquiridos no Sistema de aquisição de dados hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA). Foi feita uma organização dos dados em planilhas, facilitando assim a obtenção das médias mensais dos valores.

Foram utilizados dados de 47 estações pluviométricas localizadas nas sub-bacias em território brasileiro.

Os valores mensais das vazões foram separadas por sub-bacias e analisadas separadamente e visando a comparação com os anos de ocorrência dos fenômenos, foram escolhidos os meses com maiores (abril, maio e junho) e menores vazões (outubro, novembro e dezembro) de acordo com Foley *et al.* (2002). As diferenças entre os valores foram realizadas através da subtração dos anos com ocorrência dos fenômenos, com as médias dos meses em períodos neutros. Os resultados foram espacializados utilizando a técnica geostatística Krigagem.

### 4.3. Dados pluviométricos

Devido a quantidade de dados faltantes nas estações pluviométricas em território brasileiro, foi necessário obter dados de pluviosidade através do sensor TRMM disponibilizadas gratuitamente no sítio <https://disc.gsfc.nasa.gov/TRMM> (GesDISC, 2017).

Os dados do TRMM, produto 3B43, são disponibilizados em escala global, com resolução espacial de  $0,25^\circ$  (aproximadamente 27,83 km) e para efeitos de comparação com as outras variáveis foi escolhida a resolução temporal mensal. Inicialmente, por meio da função de extração por máscaras foi realizada o recorte da área de interesse, além da conversão das unidades inicialmente em milímetros por hora ( $\text{mm hr}^{-1}$ ) para milímetros (mm), utilizando a função de álgebra de mapas multiplicando o total de horas do mês pelo valor do pixel, levando em consideração os anos bissextos.

Os dados referentes a área de estudo em solo brasileiro foram extraídos do produto 3B43 do satélite TRMM para tabelas e foram utilizadas 204 imagens mensais de precipitação que resultaram em uma tabela com 204 valores mensais.

Com propósito de comparação na variação das precipitações em virtude do El Niño e La Niña, foram selecionados os meses com maiores intensidade pluviométricas (janeiro, fevereiro e março) e menores intensidades (julho, agosto e setembro) de acordo com Foley *et al.* (2002). A comparação na

variação pluviométrica entre os períodos com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña foi realizada por meio da subtração entre os períodos considerados neutros e os anos com presença do El Niño e La Niña para os meses selecionados.

#### 4.4. Evapotranspiração

Os dados referentes a evapotranspiração total foram obtidos através do produto GLDAS\_NOAH025\_M.020, onde utilizou-se a resolução espacial de  $.0,25^\circ$  (aproximadamente 27,83 km), e resolução temporal mensal. Os dados foram obtidos gratuitamente no sitio <https://das.gsfc.nasa.gov/gldas>.

Foram utilizadas 204 imagens (2000 a 2016) convertidas, inicialmente, do formato .netcdf para .tiff e de  $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (equivalente a  $\text{mm s}^{-1}$ ) para mm, respectivamente.

Para análise da influência do El Niño e La Niña, foi realizada a separação dos períodos considerados neutros, em relação aos períodos com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, na qual foram selecionados os meses com menores intensidades pluviométricas (julho, agosto e setembro) e maiores intensidades pluviométricas (janeiro, fevereiro e março).

Para verificação do aumento ou redução dos valores de evapotranspiração (meses com maiores e menores intensidades pluviométricas) foi realizada a subtração entre suas médias em períodos com e sem ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

#### 4.5. Cobertura de neve

Os dados referentes a cobertura de neve (MOD10A2) e *Quality Assurance* (QA) foram obtidos no *Earth Observing System Data and Information System* (EOSDIS) de forma gratuita para *download* a partir do visualizador *EarthDataSearch*, com resolução temporal mensal e espacial de 500m. Para conversão do formato .hdf para .tiff e reprojeção foi utilizado o *software Modis Reprojection Tools 4.1*.

Os dados originais apresentam os valores que vão de 0 a 255, onde cada um destes valores possui uma especificação como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição dos valores para os produtos MOD10 do sensor MODIS

<b>Valor numérico</b>	<b>Descrição</b>
0	Sem dados
1	Sem decisão
11	Noite
25	Sem neve
37	Lago
39	Oceano
50	Nuvem
100	Lago de gelo
200	Neve
254	Detecção de saturação
255	Dado Preenchido

Fonte: adaptado de NSIDC (2016).

O QA é necessário para correção das imagens, retirando todas as coberturas da terra que não forem neve, ou seja, ela remove possíveis camadas de água que o sensor inicialmente interpreta como cobertura de neve. Na Tabela 5 é demonstrado todos os valores de pixel que compõe o subproduto MOD10A2. Foi realizada a reclassificação dos valores iniciais em 0 ou NoData, somando-se a imagem de cobertura com o QA utilizando álgebra de mapas, o resultado desta etapa é uma imagem de cobertura da neve corrigida, resultando apenas em pixels de cobertura de neve.

O cálculo das áreas a partir das imagens MODIS foi realizada por meio da multiplicação do total de pixels incluso na categoria com valor numérico 200 (Neve), por sua resolução espacial (500 m), obtendo-se assim sua área em metros quadrados, posteriormente convertida para quilômetros quadrados.

Tabela 5 – Especificação da qualidade dos pixels para o produto MOD10A2

<b>Sub-produto</b>	<b>Significado dos valores</b>	<b>Valores após reclassificação</b>
Controle de qualidade obrigatória (Mandatory Quality Assurance)	0 - Pixel de boa qualidade	0
	1 - Pixel de qualidade intermediária	0
	252 - Máscara de neve da Antártica	NoData
	254 - Máscara de corpos d'água	NoData
	255 - Pixel preenchido automaticamente	NoData

Fonte: adaptado de Wan (2013).



#### 4.6. Índice Oceânico Niño

O Índice Oceânico Niño (ION) baseia-se na média da temperatura do oceano e os valores brutos das temperaturas são obtidos e analisados pelo NOAA. Quando o índice é positivo, a temperatura do oceano Pacífico está mais elevada que o normal, e para o índice negativo ocorre o contrário.

Obtendo-se a média móvel de três meses da temperatura, é possível conhecer se há ou não ocorrência dos eventos de El Niño ou La Niña. Se a média exceder +0,5°C por no mínimo cinco meses consecutivos há ocorrência de El Niño e se for menor que -0,5°C há ocorrência da La Niña. A não ocorrência de nenhum destes casos e denominado ano neutro, como mostra a Tabela 6 (TRENBERTH, 1984).

Tabela 6 – Valores do ION para os anos 2000 a 2016, onde os valores em azul indicam médias negativas nos três meses caracterizando eventos de La Niña, valores em vermelho indicam El Niño, os demais apresentam valores que caracterizam a neutralidade, não indicando nenhum dos dois eventos

Ano	DJF <sup>1</sup>	JFM <sup>2</sup>	FMA <sup>3</sup>	MAM <sup>4</sup>	AMJ <sup>5</sup>	MJJ <sup>6</sup>	JJA <sup>7</sup>	JAS <sup>8</sup>	ASO <sup>9</sup>	SON <sup>10</sup>	OND <sup>11</sup>	NDJ <sup>12</sup>
2000	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
2002	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1	0	0	-0,1	-0,4	-0,7
2006	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1
2007	0,7	0,3	0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,3
2008	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,4	-0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	1	1,2	1,3
2010	1,3	1,1	0,8	0,5	0	-0,4	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,3	-1,4
2011	-1,3	-1,1	-0,8	-0,6	-0,3	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-0,9	-0,8
2012	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,2
2013	-0,4	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,5	-0,6	-0,4	-0,2	0	0	0	0	0,2	0,4	0,6	0,6
2015	0,5	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,2	2,3
2016	2,2	2	1,6	1,1	0,6	0,1	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7

<sup>1</sup> Dezembro do ano anterior, Janeiro e Fevereiro; <sup>2</sup> Janeiro, Fevereiro e Março; <sup>3</sup> Fevereiro, Março e Abril;

<sup>4</sup> Março, Abril e Maio; <sup>5</sup> Abril, Maio e Junho; <sup>6</sup> Maio, Junho e Julho; <sup>7</sup> Junho, Julho e Agosto; <sup>8</sup> Julho, Agosto e Setembro; <sup>9</sup> Agosto, Setembro e Outubro; <sup>10</sup> Setembro, Outubro e Novembro; <sup>11</sup> Outubro, Novembro e Dezembro; e <sup>12</sup> Novembro, Dezembro e Janeiro do ano posterior

Fonte: adaptado de NOAA (2017).

Posteriormente o ION foi classificado em graus de intensidade podendo ser caracterizado de fraco a muito forte como demonstra a Tabela 7 (TRENBERTH, 1997; TRENBERTH; STEPANIAK, 2001).

Tabela 7 – Classificação da intensidade dos eventos de El Niño e La Niña de acordo com o Índice Oceânico Niño (SOI)

Evento	SOI	Intensidade
El Niño	0,5 a 0,9	Fraca
	1,0 a 1,4	Moderada
	$\geq 1,5$	Forte
La Niña	-0,5 a -0,9	Fraca
	-1,0 a -1,4	Moderada
	$\leq -1,5$	Forte

Fonte: adaptado de Trenberth, (1997); Trenberth e Stepaniak (2001).

## 4.7. Estatísticas

### 4.7.1. Regressão linear

A regressão linear entre a variável dependente (vazão) e independentes (precipitação, evapotranspiração, ION e área), foi utilizada, visando obtenção do comportamento individuais das variáveis em comparação com a vazão (2).

$$\hat{V} = \beta_0 + \beta_1 X \quad (2)$$

Em que,

$\hat{V}$ : vazão estimada ( $m^3.s^{-1}$ );

$\beta_x$ : parâmetros estimados da regressão; e

X: variáveis independentes (precipitação, evapotranspiração, área da geleira e índice oceânico Niño).

### 4.7.2. Regressão múltipla

O uso da regressão múltipla foi utilizada devido ao número de variáveis escolhidos para esta pesquisa, foi considerada como variável dependente a

vazão, e como independentes: evapotranspiração, ION, precipitação e áreas cobertas por neve (3).

$$\hat{V} = \beta_0 + \beta_1P + \beta_2E + \beta_3A + \beta_4I \quad (3)$$

Em que,

$\hat{V}$ : vazão estimada ( $m^3.s^{-1}$ );

$\beta_x$ : parâmetros estimados da regressão;

P: precipitação (mm);

E: evapotranspiração (mm);

A: área coberta por neve ( $km^2$ ); e

I: índice oceânico Niño ( $^{\circ}C$ )

Para análise do ajuste das regressões foram utilizados os valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $r^2_{ajus}$ ) Valor p e Valor F.

A fim de evitar efeitos de multicolinearidade, muito comuns em regressões múltiplas foi calculado o Fator de Inflação da Variância (VIF), sendo que este fator mede o grau que cada variável independente é explicada pelas demais variáveis independentes. Quanto maior o VIF de uma variável, mais forte será a sua multicolinearidade em relação às demais. Montgomery (2006), admite que a colinearidade causará efeitos nos parâmetros da regressão quando  $VIF > 5$ .

Um dos métodos mais usados para reduzir a Multicolinearidade, é o teste *Stepwise*, teste que consiste em incluir sucessivamente na equação de regressão as variáveis independentes mais correlacionadas com a variável dependente, testando-as sucessivamente até obter os menores valores de colinearidade entre as variáveis (REGAZZI; LEITE, 1992).

Para análise da regressão, e cálculos dos fatores ( $r^2$ ,  $r^2_{ajus}$ , valor P, valor F e VIF) assim como *Stepwise* foi utilizado o pacote Rcmdr do *software* R 3.2.5.

### 4.7.3. Correlação linear simples

A correlação linear simples foi utilizada para verificar a existência na relação das variáveis, isto é, saber se as alterações sofridas por uma das variáveis são acompanhadas por alterações nas outras.

Foram calculadas duas correlações (dados anuais e média do período), com objetivo de verificar as influências anuais e a do período. As correlações entre as variáveis foram analisadas de acordo com a Tabela 8.

Para os cálculos foi utilizado a ferramenta teste de correlação do pacote Rcmdr do *software* R 3.2.5. A ferramenta calcula a matriz de correlação para todas as variáveis. Após a obtenção dos coeficientes de correlação pela matriz citada, foi calculado o *t* de *Student* ( $t_o$ ), utilizado para verificar a significância da correlação utilizando a Equação (4).

$$t_o = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (4)$$

Em que,

$t_o$ : *t* de *Student*;

r: coeficiente de correlação; e

n: número de valores da amostra;

Tabela 8 – Tabela demonstrativa dos coeficientes de correlação e sua legenda de acordo com os valores encontrados

Coeficiente de correlação	Correlação
$r_{xy} = -1$	Perfeita negativa
$-1 < r_{xy} < 0$	negativa
$r_{xy} = 0$	Nula
$-1 < r_{xy} < 0$	Positiva
$r_{xy} = 1$	Perfeita positiva
$0,2 < r_{xy} < 0,4$	Fraca*
$0,4 < r_{xy} < 0,7$	Moderada*
$0,7 < r_{xy} < 0,9$	Forte*

\* - pode ser usado para correlações positivas e negativas

Fonte: adaptado de Montgomery (2006)

#### 4.7.4. Análise de componentes principais

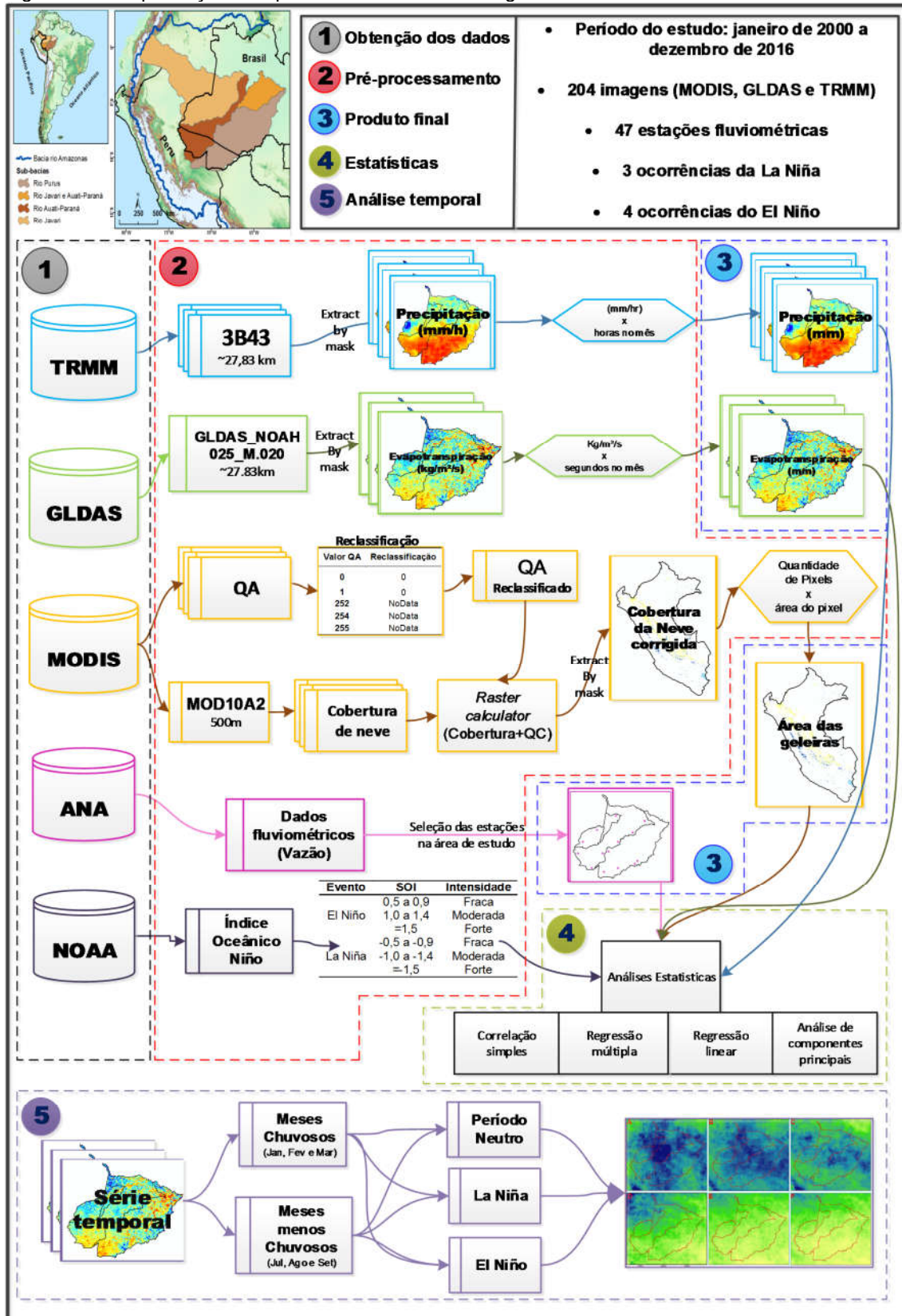
A análise de componentes principais (PCA) é um método que tem como finalidade a análise das variáveis independentemente e sua principal vantagem é analisar as variáveis excluindo a distinção das unidades.

Inicialmente os dados foram importados utilizando o *software* R 3.2.5 e após a verificação dos dados, observando se todas as variáveis foram importadas sem erros, foi feita uma transformação dos valores iniciais utilizando o comando *scale* do R. Após a transformação dos valores iniciais, aplicou-se o comando *prcomp*, com objetivo de calcular os valores dos componentes, sendo que o algoritmo completo utilizado para esta etapa metodológica encontra-se no Apêndice I.

#### 4.8. Fluxograma metodológico

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a obtenção dos dados, pré-processamento e produto final é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Simplificação dos procedimentos metodológicos



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise das variáveis nas sub-bacias hidrográficas

Foram comparados individualmente os resultados referentes as quatro sub-bacias hidrográficas no bioma Amazônico.

#### 5.1.1. Sub-bacia do rio Purus

A sub-bacia do rio Purus possui área total, de aproximadamente 382.702,07 km<sup>2</sup>, precipitação média anual de 2,325 mm, mensal de 197,02 mm e vazão média anual de 4.370,05 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

Na Figura 4A é demonstrada a variação mensal das vazões no período estudado (2000 a 2016) em decorrência dos eventos El Niño e La Niña. Observa-se nos anos entre 2000 e 2011 um comportamento mais estável se comparado com as vazões posteriores a 2011 e, a partir deste ano, foram encontrados os maiores valores mensais de vazão. Observando a Figura 4B não foi constatada nenhuma mudança entre as precipitações e sua média, sugerindo que o aumento das vazões não ocorreu por meio da alteração no regime de chuvas na sub-bacia do rio Purus. Os resultados encontrados corroboram com aqueles obtidos por Pereira, Szlafsztein e Araújo (2015) que afirmam que as mudanças no regime hídrico no rio Purus veem ocorrendo por causa dos índices crescentes de urbanização e desmatamentos frequentes nesta sub-bacia.

Foram observados nas Figura 4A e 4B, que a ocorrência do fenômeno El Niño de intensidade forte entre os anos 2015 e 2016 ocasionou a redução da vazão e precipitação 4 meses após a sua redução de intensidade. Para os períodos em que ocorreu a presença do fenômeno El Niño, observou-se que os picos do ION ocorreram no mesmo período do ano onde há uma menor vazão na sub-bacia (Figura 4A). No entanto, os maiores valores mensais das vazões foram observados nos meses em que não houve influência de nenhum dos fenômenos, sendo: 12.241,67 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2012), 11.183,67 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2013), 10.675,25 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2014) e 12.035,67 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2015).

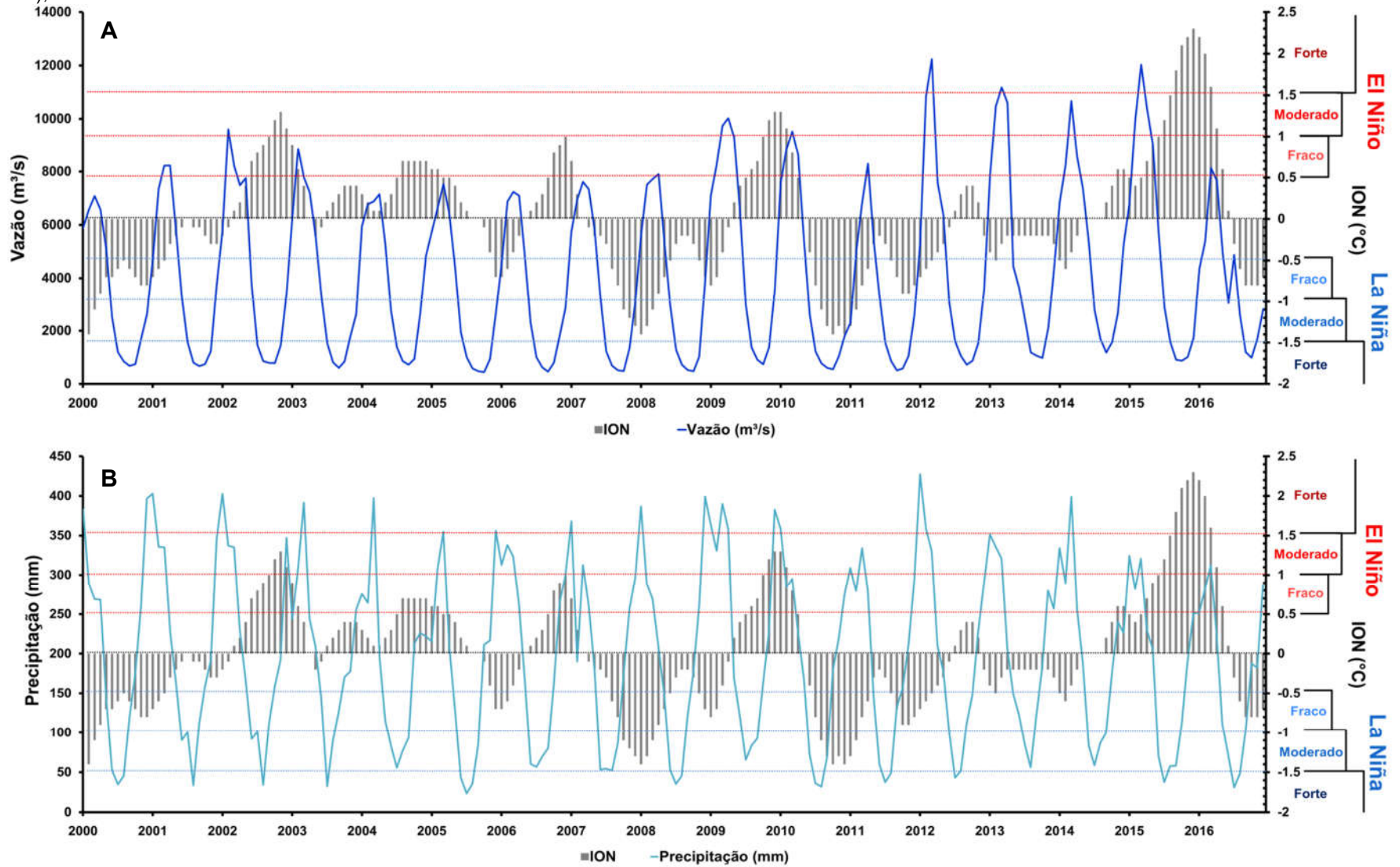
Neste sentido, os maiores índices de precipitações mensais foram observados em janeiro dos anos que estavam sob influência da La Niña, 403,12 mm (2001) e 427,38 mm (2012), contudo foi verificado o valor de 402,64 mm em 2002, do qual não estava sendo influenciado por nenhum dos fenômenos, indicando que a presença da La Niña não influencia necessariamente os maiores picos de precipitação pluviométrica. Sendo assim, os menores índices de precipitação ocorreram em anos posteriores há influência do fenômeno El Niño, 23,42 mm (julho de 2005), 31,82 mm (agosto de 2010) e 31,02 mm (agosto de 2016) como demonstrado na Figura 4B.

Eventos de escassez hídrica na sub-bacia do rio Purus também foram identificados por Liberato e Brito (2011) e Serrão *et al.* (2015), onde foi observado que o padrão da precipitação associado com o El Niño remete a condições mais secas quando comparados com anos neutros ou com presença do fenômeno La Niña que ocorre predominantemente em setembro e outubro no oeste da Amazônia (região da área de estudo deste trabalho), no qual foi observado pelos autores supracitados déficits de precipitação que variaram entre 100 mm a 200 mm. A ocorrência do fenômeno El Niño a partir de outubro de 2004 acarretou a diminuição das precipitações nas regiões sul e oeste da bacia Amazônica (MARENGO *et al.*, 2011) e, segundo os autores, esse déficit na recarga hídrica influenciou os níveis de cota e vazões fluviais dos rios ao sul da Amazônia, afetando diretamente os rios dessas regiões.

Portanto, uma análise sugere que o fenômeno El Niño influenciou desfavoravelmente as cheias e recargas dos tributários em toda região norte, durante o período com maiores ocorrências de chuvas nos anos onde foram observados eventos de escassez pluviométrica. Estes resultados corroboram com aqueles encontrados por Marengo (2006) e Marengo *et al.* (2011) para a mesma área de estudo onde foi constatado que ao ser substituído pela sua fase fria (La Niña) o fenômeno El Niño pode vir a modificar as variáveis climáticas, favorecendo a ocorrência de estiagens severas nos tributários dos rios pertencentes a região Amazônica.

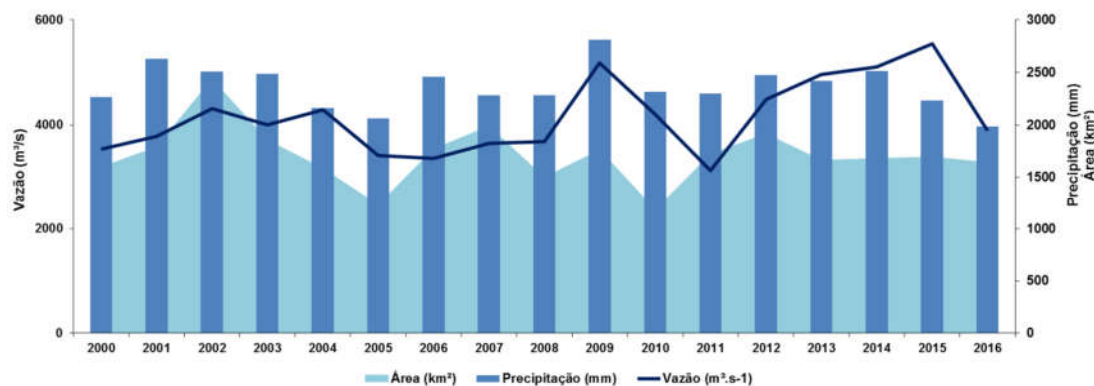


Figura 4 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Purus, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016



Na Figura 5 são apresentados os valores médios da vazão em relação à precipitação e a área coberta por neve. Neste aspecto, observa-se que não há relação entre a variação das áreas e a vazão da sub-bacia do rio Purus, o que pode ser comprovado por meio do teste de correlação parcial apresentado na Figura 6, onde o valor 0,4 representa uma correlação fraca entre as variáveis vazão e área coberta por neve. A redução nestas áreas não favorece o incremento da vazão na região hidrográfica do rio Purus, sugerindo que o degelo pouco influencia o regime fluviométrico da sub-bacia. Contudo, verifica-se que os índices pluviométricos influenciam a vazão, pelo fato das reduções na precipitação remeterem aos valores mais baixos de vazão, sendo a correlação igual a 0,6 apresentada na Figura 6, um indicativo moderado entre a precipitação e a vazão.

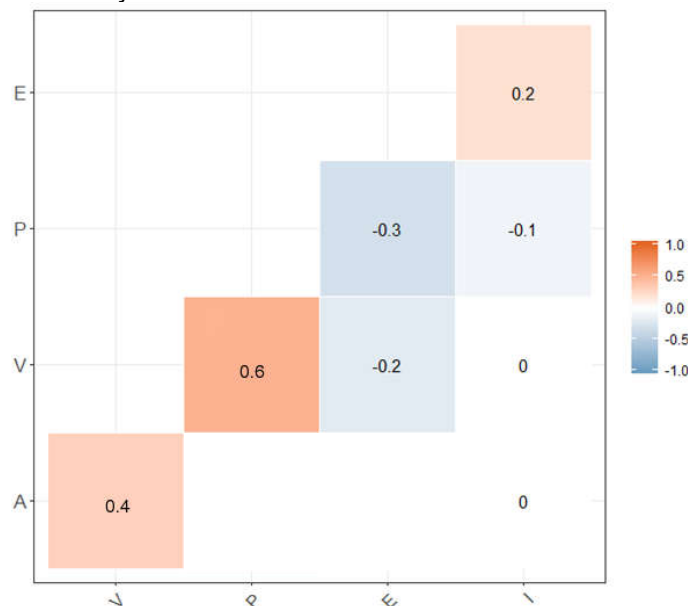
Figura 5 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Purus, em relação a área coberta por neve peruanas, no período de 2000 a 2016



Na Figura 6 são apresentados os valores de correlação parcial entre as variáveis, onde foi observado uma correlação moderada entre a vazão e a precipitação da sub-bacia do rio Purus. Ainda neste cenário, foram realizadas correlações entre o ION e a evapotranspiração na sub-bacia, nas quais foram obtidas correlações fracas entre estes índices, em que o ION não se correlaciona com as áreas da geleira nem com a vazão para esta sub-bacia (correlação nula). Já a correlação negativa entre a evapotranspiração e a precipitação indicam que o aumento destas variáveis interferem inversamente uma na outra, fato que pode ser notado entre a evapotranspiração e a vazão, apontando que o aumento de uma variável causa redução na outra.

Estas interações entre a superfície terrestre, atmosfera e evapotranspiração com a umidade do solo, têm sido propostos como possíveis modificadores dos processos hidroclimatológicos em escalas temporais anuais e interanuais na região Amazônica por Poveda e Mesa (1997) e Makarieva; Gorshkov (2006).

Figura 6 – Matriz de correlação entre as variáveis da sub-bacia do rio Purus



A: área coberta por neve, V: vazão, E: evapotranspiração e I: índice oceânico niño.

### 5.1.2. Sub-bacia do rio Javari

A sub-bacia hidrográfica do rio Javari abrange uma área de 83.586,48 km<sup>2</sup>, com vazão média de 2.626,34 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, precipitação anual de aproximadamente 2.781,39 mm e mensal de 235,27 mm.

Nesta sub-bacia os valores mensais das vazões decrescem quando ocorre influência do fenômeno El Niño (Figura 7A). No ano de 2003 o pico máximo de vazão mensurado foi 3.964 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> enquanto nos anos anteriores à ocorrência do fenômeno El Niño, os picos obtidos foram 4.658 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2000), 4.381 m s<sup>-1</sup> (2001) e 4.701 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2002). Vale salientar que o período entre 2000 – 2001 foi caracterizado pela presença do fenômeno La Niña, enquanto no ano de 2002 foi

caracterizado pela presença do El Niño, ocasionando uma redução da vazão em relação aos anos neutros.

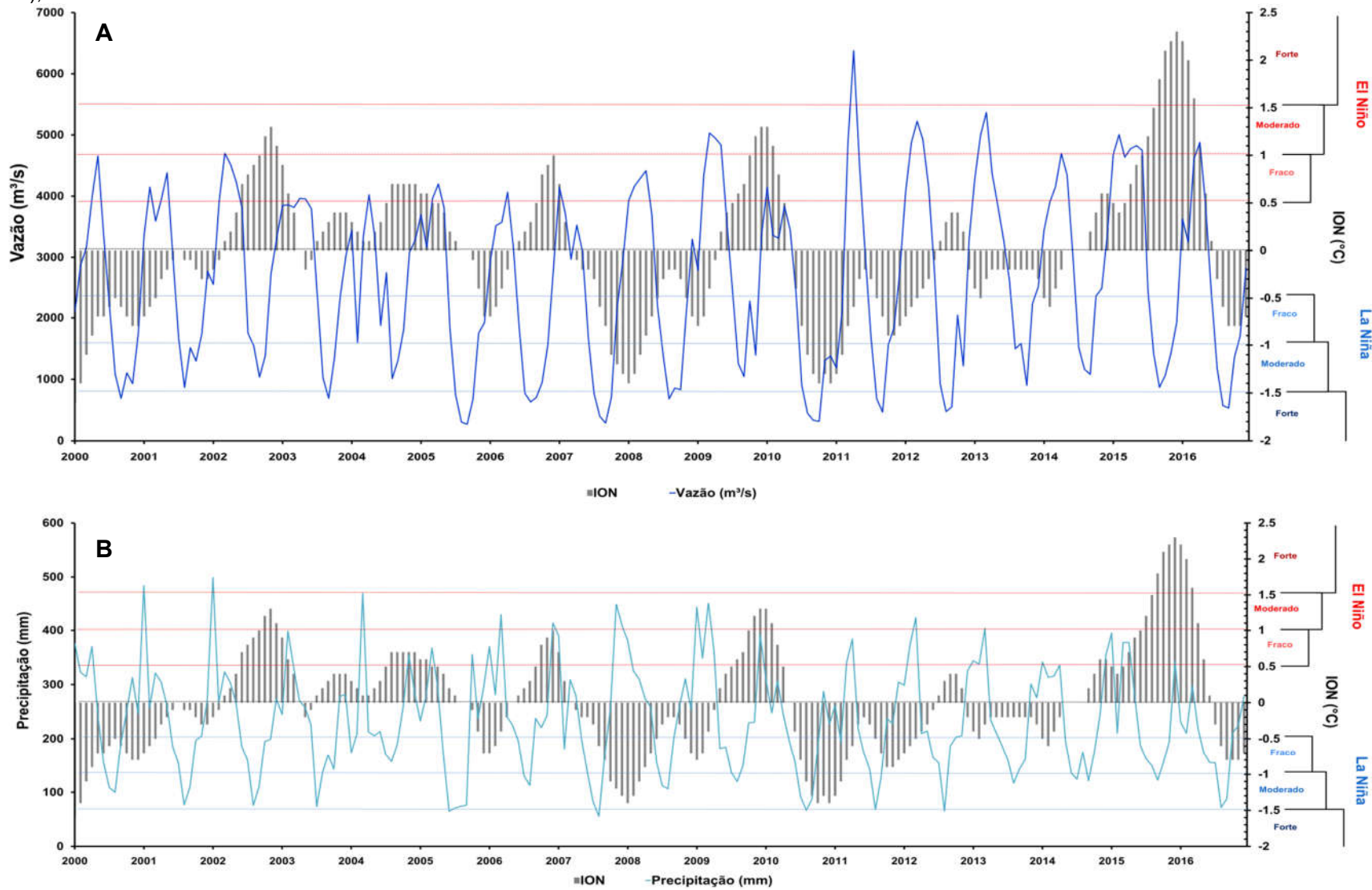
Na sub-bacia do rio Javari, os menores valores de vazão foram observados em períodos posteriores a ocorrência do fenômeno El Niño, sendo  $268 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para 2005 e  $315 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para 2010, quando comparados aos valores constatados em anos neutros ou com a presença do fenômeno La Niña, como demonstrado na Figura 7A. Estes valores corroboram com os resultados encontrados por Marengo *et al.* (2006, 2011), ao estudarem a ocorrência de seca na região Amazônica. Estes autores observaram que a ocorrência do El Niño nos anos 2005 e 2010 foram considerados a principal causa para a redução da vazão na região Amazônica, pelo aumento de apenas  $0,5^\circ\text{C}$  na superfície do oceano Pacífico. Contudo, este efeito é observado se este aumento na temperatura perdurar por no mínimo cinco meses (TRENBERTH, 1984).

Ao comparar o regime fluviométrico da sub-bacia do rio Javari a sub-bacia do rio Purus, nota-se que ocorre uma variação neste regime causada pela menor extensão da sub-bacia do rio Javari (LIMBERGER, ELISA e SILVA, 2016). Estes autores destacam que as vazões médias nas bacias com menores extensões são mais afetadas pelos fenômenos (El Niño e La Niña). Neste sentido, as variáveis climáticas afetam mais severamente bacias com menores extensões quando comparadas à bacias mais extensas.

Analisando a série temporal de precipitação em relação ao ION (Figura 7B), observa-se que os menores valores dos índices de chuvas ocorreram em períodos sob influência do fenômeno El Niño,  $65,05 \text{ mm}$  (2005) e  $66,78 \text{ mm}$  (2010). Em contrapartida, os valores encontrados no período sob influência da La Niña foram  $76,74 \text{ mm}$  (2001) e  $106,37 \text{ mm}$  (2008). Neste cenário, os índices de precipitação mensal obtidos para esta sub-bacia foram reduzidos a partir de 2010. Flantua *et al.* (2015) sugerem que os impactos dos altos índices de desmatamento na bacia Amazônica afetam diretamente as variáveis climáticas da região, e conseqüentemente, induzem a redução nos índices de chuvas.

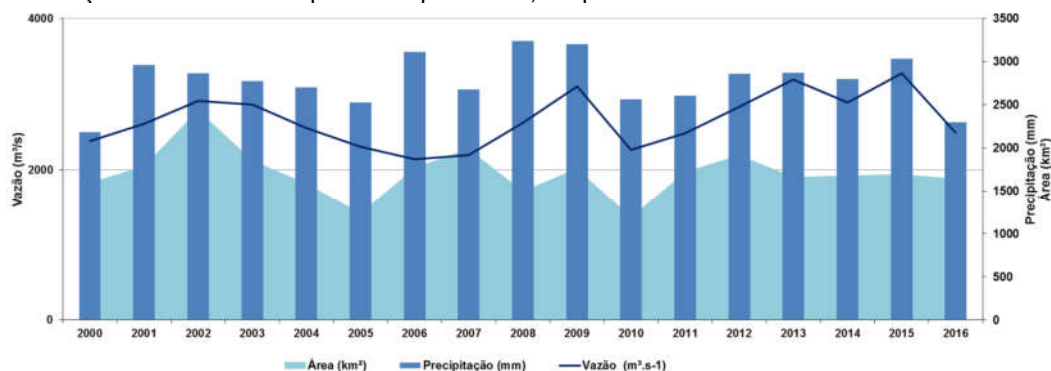
Nesta sub-bacia foi observado que a redução da precipitação em meados do ano 2010, foi seguida por uma redução na vazão (Figura 7A e 7B), sugerindo que a principal modificação no regime de vazões foi causado por modificações na sazonalidade das precipitações.

Figura 7 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Javari, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016



Na Figura 8 são apresentados os valores anuais de precipitação em relação as médias das vazões e áreas coberta por neve. Com base nos resultados obtidos, nota-se que não ocorreu uma tendência específica da vazão em relação a variação das áreas cobertas por neve, ou seja, as vazões no rio Javari estão mais fortemente relacionadas com episódios pluviométricos, de modo que, nos anos onde houve os maiores índices pluviométricos, foram observados as maiores vazões, com exceção para os anos 2001, 2006 e 2008. Segundo Silva, Reis e Carvalho (2014), estes resultados podem ser associados aos fatores antropogênicos observados na área.

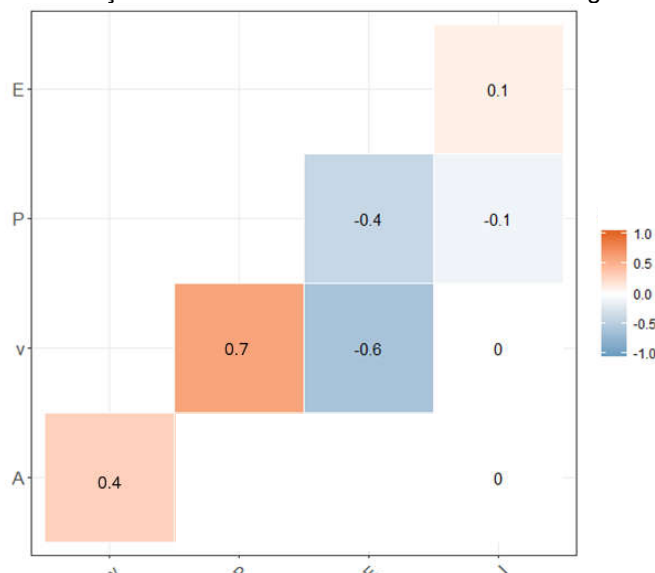
Figura 8 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Javari, em relação a área coberta por neve peruanas, no período 2000 a 2016



São apresentadas na Figura 9 as correlações entre as vazões e as precipitações, demonstrando uma correlação moderada (0,7), enquanto nas áreas cobertas por neve obteve-se uma correlação fraca com a vazão (0,4), corroborando com os dados da série temporal. Neste sentido, ao serem incluídas as variáveis (ION e evapotranspiração), observou-se correlações fracas entre as variáveis (0,1). Ao calcularmos as correlações do ION com as outras variáveis (precipitação, área, vazão e evapotranspiração), obteve-se correlações fracas (0,1) e nulas (0), portanto o ION não influencia diretamente o comportamento das demais variáveis estudadas nesta sub-bacia.

Para a evapotranspiração foi obtida uma correlação moderada negativa (-0,6) com a vazão. Estes resultados demonstram uma correlação inversamente proporcional, de forma que o aumento na evapotranspiração condiciona uma redução na precipitação e vazão.

Figura 9 – Matriz de correlação entre as variáveis na sub-bacia hidrográfica do rio Javari



A: área coberta por neve, V: vazão, E: evapotranspiração e I: índice oceânico niño.

### 5.1.3. Sub-bacia do rio Auatí-Paraná

A sub-bacia hidrográfica do rio Auatí-Paraná possui área de 382.702,07 km<sup>2</sup>, média mensal de precipitação 246,58 mm e anual de 2.917,07 mm, com média de vazão corresponde a 46.085,39 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

Nesta sub-bacia hidrográfica a série temporal das vazões mensais relacionadas com o ION não demonstram nenhum comportamento indicando relação entre essas variáveis. Com isso, a variação da vazão permanece regular mesmo com a influência dos fenômenos El Niño e La Niña. Entretanto, no ano de 2011 foi observado uma vazão correspondente a 2.292 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (menor valor observado na série de estudo), coincidindo com o fenômeno La Niña. Este resultado é considerado atípico pois o fenômeno La Niña tende a aumentar a vazão devido ao aumento nos índices pluviométricos. No ano de 2016, também foi observado valores de vazão abaixo da média (5.730 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>), entretanto estes valores são justificados pela presença do fenômeno El Niño de intensidade forte neste ano (Figura 10A).

Para esta sub-bacia os índices pluviométricos influenciaram com maior intensidade quando comparados aos fenômenos El Niño e La Niña. Diferente das sub-bacias anteriores onde estes fenômenos tiveram maiores influências, na sub-

bacia do rio Auatí-Paraná devido ao seu tamanho reduzido os índices de chuva condicionaram uma forte influência no seu regime hídrico, principalmente nos meses de novembro e setembro, onde foram verificados os menores valores de vazão (Figura 10B).

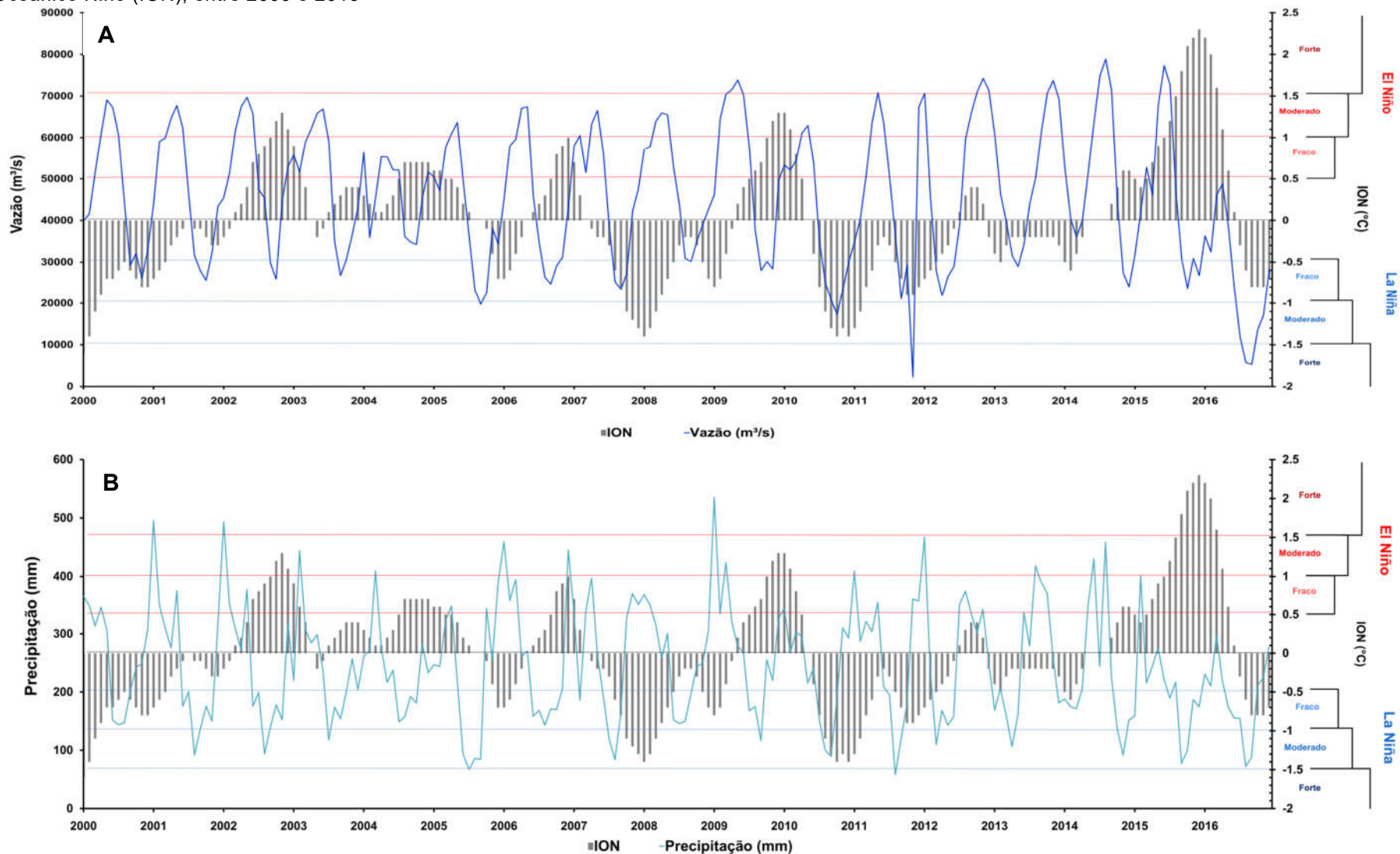
Estas variações nos índices pluviométricos e fluviométricos são afetadas por meio da circulação atmosférica que influencia fortemente na variabilidade interanual do clima (NOBRE e SRUKLA, 1996 e SERRÃO *et al.*, 2015). Além disso, esta sub-bacia localiza-se na região norte/leste da bacia Amazônica, tornando-a mais suscetível as variações no oceano Atlântico (SICHANGI *et al.*, 2016).

Segundo Marengo *et al.* (2008), em estudos relacionados com longas séries temporais (1903 – 2005), foi constatado que os baixos índices pluviométricos ocorridos em 1995 influenciaram o regime hídrico da região Amazônica por mais dois anos após a sua ocorrência, explicado pela grande variabilidade climática que ocorre na região. Segundo Marengo *et al.* (2011) e Gloor *et al.* (2013) este mesmo comportamento pode ter influenciado as alterações nos regimes hidrológicos da sub-bacia do rio Auatí-Paraná no ano de 2011, enquanto a escassez hídrica na bacia Amazônica ocorreu no ano de 2010, neste mesmo ano não foi observado este efeito de escassez nesta sub-bacia.

Em 2016, também foram observados valores baixos de precipitações e conseqüentemente de vazão na sub-bacia do rio Auatí-Paraná (Figura 10), o mesmo período foi citado por Santos *et al.* (2017) em seus estudos sobre eventos extremos de seca na Amazônia, estes autores concluíram que para o ano de 2016 o fator condicionante para a escassez hídrica nesta área foi a presença do fenômeno El Niño de intensidade forte. Um evento com tal intensidade foi verificado apenas para o ano de 1998, causando também, eventos extremos de baixa precipitação na região (HUANG *et al.*, 2017; JI *et al.*, 2017).

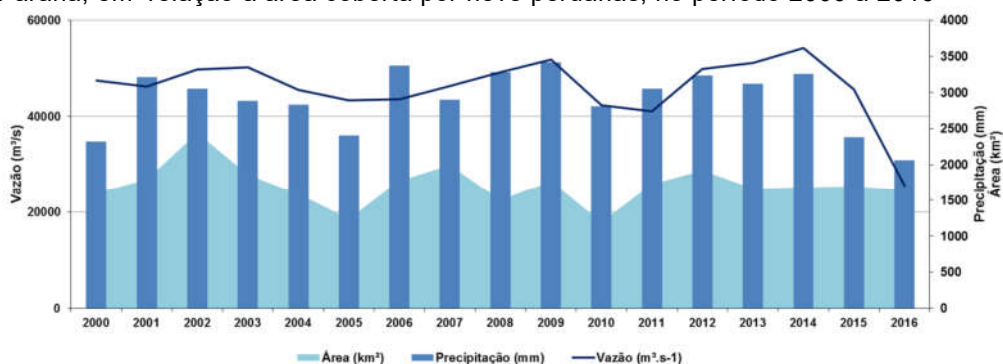


Figura 10 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Auatí-Paraná, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016



Na Figura 11 são apresentadas as médias anuais de áreas cobertas por neve, precipitação e vazão. Estas séries temporais demonstram que a vazão a partir do ano de 2010 tendeu a aumentar. Com isso, observa-se que a vazão para o rio Auatí-Paraná não foi influenciada diretamente pela precipitação, ou seja, estes rios recebem afluentes advindos da Colômbia, Equador e Peru, países também inseridos na bacia Amazônica, entretanto, possuem outros regimes pluviométricos distintos da bacia Amazônia brasileira (FILIZOLA e GUYOT 2011).

Figura 11 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do Auatí-Paraná, em relação a área coberta por neve peruanas, no período 2000 a 2016

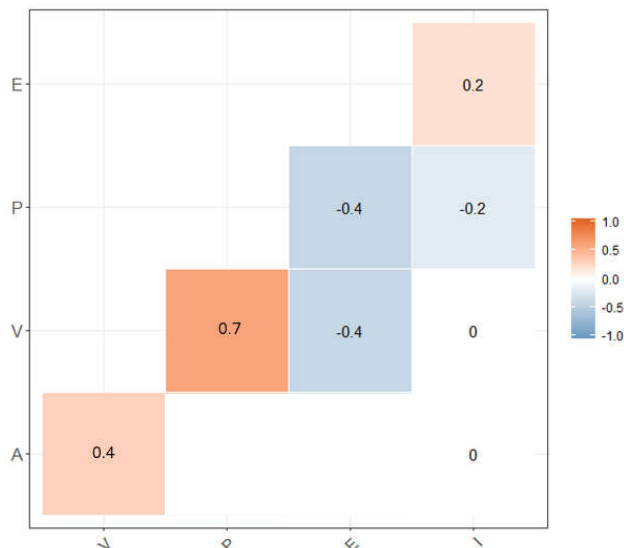


Neste aspecto, observa-se na matriz de correlação apresentada na Figura 12, que houve uma correlação moderada (0,7) entre a precipitação e vazão, enquanto a correlação entre a área e vazão foi fraca (0,4), estes resultados indicam que existe uma maior relação entre as variáveis precipitação e vazão.

Ao incluir as variáveis (ION e evapotranspiração), observou-se correlações fracas entre as variáveis (0,2). Ao calcularmos as correlações do ION com as outras variáveis (precipitação, área, vazão e evapotranspiração), obteve-se correlações fracas (0,2) e nulas (0), portanto o ION não influencia diretamente o comportamento das demais variáveis estudadas nesta sub-bacia.

Para a evapotranspiração foi obtida uma correlação fraca negativa (-0,4) com a vazão. Estes resultados demonstram uma correlação inversamente proporcional, de forma que o aumento na evapotranspiração condiciona uma redução na precipitação e vazão.

Figura 12 – Matriz de correlação entre as variáveis na sub-bacia hidrográfica do rio Javari e Auatí-Paraná



A: área coberta por neve, V: vazão, E: evapotranspiração e I: índice oceânico niño.

#### 5.1.4. Sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná

A sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná apresenta área de 44.935,81 km<sup>2</sup>, com uma vazão média mensal de 1.340,19 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, precipitação média mensal de 222,07 mm e anual 2.615,92 mm.

Na Figura 13A é apresentada a série temporal mensal da vazão em comparação ao ION, onde não foi verificada nenhuma semelhança entre as variáveis, de modo que, as variações do ION não influenciaram diretamente as vazões. Além disso, foi observado que os valores mensais das vazões se comportaram de forma semelhante até o ano de 2011, e a partir deste ano os valores elevaram-se, com exceção para o ano de 2005, onde foi observado o valor do pico máximo de 3.352 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Nos anos até 2011 foram mensurados valores de pico que não ultrapassaram 2.500 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

Nos demais anos foi observado uma influência dos fenômenos El Niño e La Niña no regime hídrico desta sub-bacia, entretanto, o ano de 2016 foi influenciado pelo fenômeno El Niño de intensidade forte, sendo obtido o maior valor de vazão (6.982 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>), como demonstrado na Figura 13B.

Em relação as precipitações mensais (Figura 13A), observou-se na série temporal estudada cinco eventos mensais onde os índices pluviométricos foram

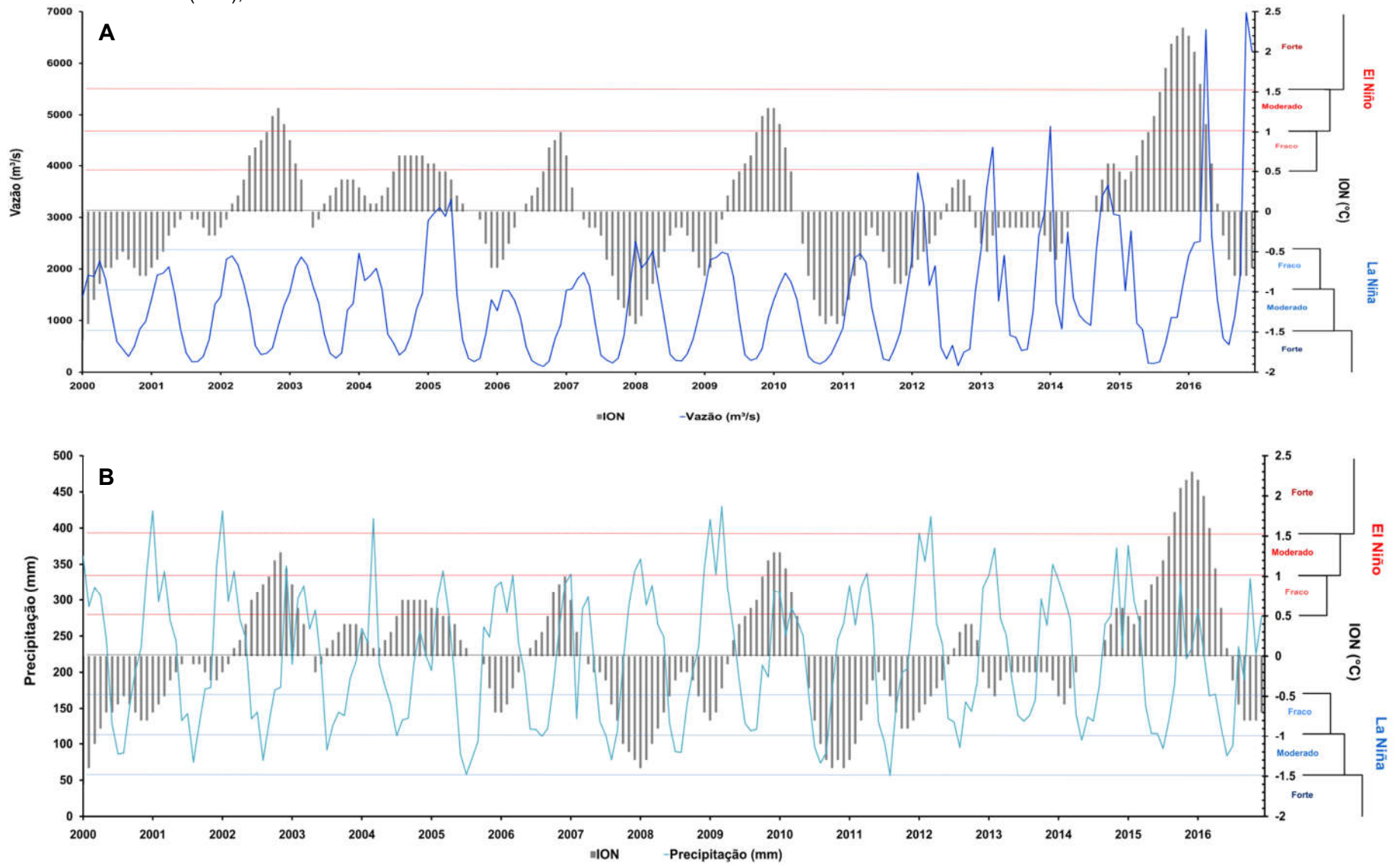
superiores a 400 mm (2001, 2002, 2004, 2009 e 2012). Estes resultados podem ser atribuídos ao fato de ocorrer em determinados anos efeitos atípicos na região, como destacado por Adamy (2015), que relatou episódios de inundação no estado do Acre no ano de 2012, este autor destaca que tais acontecimentos foram decorrentes de uma sazonalidade climática da Amazônia ocasionada por precipitações, principalmente nos rios Acre e Iaco.

Neste mesmo ano, alguns rios da região Amazônica tiveram picos de vazão decorrentes da antecipação da ocorrência e da grande intensidade do fenômeno La Niña. Com isso, as temperaturas da superfície do mar no Pacífico diminuíram cerca de 2°C, o que favoreceu um aumento na convergência e transporte da umidade, resultando em precipitações prolongadas, grande cheias dos rios e inundações nos meses iniciais do ano de 2012 (ESPINOZA *et al.*, 2013).

Em relação a precipitação os menores valores mensais foram 58,04 mm e 56,54 mm, para os anos de 2005 e 2011, respectivamente (Figura 13A). Em contrapartida, os valores de vazão aumentaram no período entre 2011 – 2016, devido a elevação das precipitações no mesmo período (Figura 13B). Este aumento da vazão nos anos 2011 a 2016 podem ter ocorrido devido as alterações nas medições realizadas nas estações fluviométricas, ou erros de leitura dos aparelhos medidores que são considerados corriqueiros (PEREIRA, SZLAFSZTEIN e ARAÚJO, 2016).

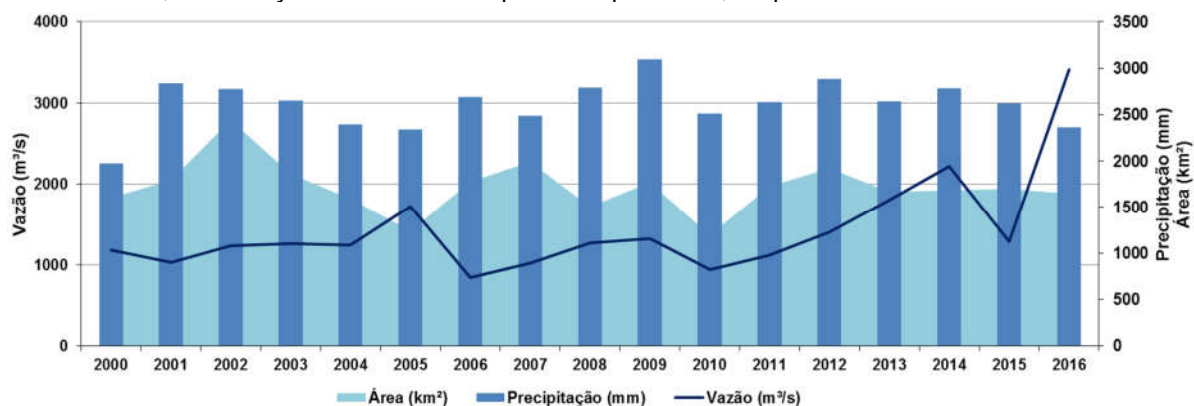
Verificou-se que o pico da precipitação mensal em 2016 foi reduzido em comparação aos anos anteriores, sugerindo que a decorrência do fenômeno El Niño de intensidade forte tenha sido a principal influência no decréscimo das precipitações mensais.

Figura 13 – Análise mensal da vazão (A) e precipitação pluviométrica mensal (B), na sub - bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, relacionado com o Índice Oceânico Niño (ION), entre 2000 e 2016



Na Figura 14 são apresentadas as médias anuais da área coberta por neve e precipitações em relação a vazão na sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná. As vazões não acompanham necessariamente os índices pluviométricos pelo fato da mesma ser influenciada pelo regime hídrico de rios que não fazem parte da área de estudo (Colômbia, Equador e Peru), não sendo analisada as contribuições fluviométricas destes rios a montante (FILIZOLA e GUYOT 2011).

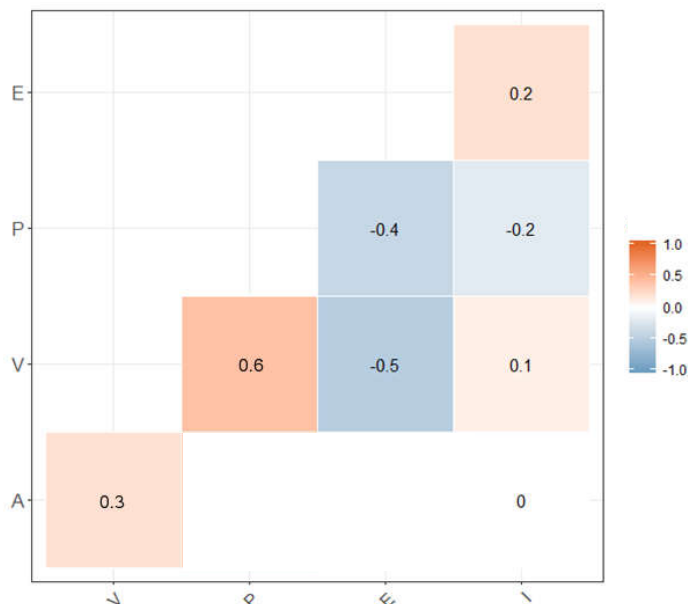
Figura 14 – Série temporal das vazões e precipitações na sub-bacia hidrográfica do rio Javari e Auatí-Paraná, em relação a área coberta por neve peruanas, no período 2000 a 2016



Na Figura 15 são apresentados os valores de correlação entre as variáveis na sub-bacia, sendo o maior índice obtido entre a evapotranspiração e a vazão (-0,5), correlação com característica moderada. Thakkar *et al.* (2017) relatam que o ciclo hidrológico de uma região esta intrinsecamente relacionado com sua cobertura vegetal e, conseqüentemente, a evapotranspiração aliada com outros fatores climáticos. A combinação destes fatores podem influenciar diretamente as descargas fluviais.

Para as variáveis precipitação e vazão foi obtida uma correlação moderada (0,6). Enquanto foi obtida uma correlação fraca (0,3) para as variáveis ION e vazão. Tais resultados sugerem que os fenômenos climáticos não alteram diretamente a vazão para esta sub-bacia.

Figura 15 – Matriz de correlação entre as variáveis na sub-bacia hidrográfica do rio Javari e Auatí-Paraná



A: área coberta por neve, V: vazão, E: evapotranspiração e I: índice oceânico niño.

## 5.2. Comparação das vazões nos períodos neutro, El Niño e La Niña

Na Figura 16 são apresentadas as médias das vazões espacializadas de acordo com os períodos de alta (abril, maio e junho) e baixa vazão (outubro, novembro e dezembro) de acordo com a presença ou não dos fenômenos El Niño e La Niña. No período de alta vazão os menores valores foram observados nos anos considerados neutros (sem presença dos fenômenos El Niño e La Niña), e os maiores no período com presença da La Niña. Estes resultados apresentados são semelhantes aos encontrados por Foley *et al.* (2002) que evidenciaram, por meio de simulações, um aumento de 10% na média das vazões no período de alta vazão com presença da La Niña e redução de 5% na presença do El Niño.

O comportamento das altas vazões na presença da La Niña reduz as vazões ao sul da área de estudo, quando comparado com o período neutro. Contudo na parte norte/leste, onde encontra-se os rios com maiores extensões, os valores são acrescidos (Figura 16B). Entretanto, na presença do El Niño, ocorre uma redução das vazões nesta mesma área (Figura 16C).

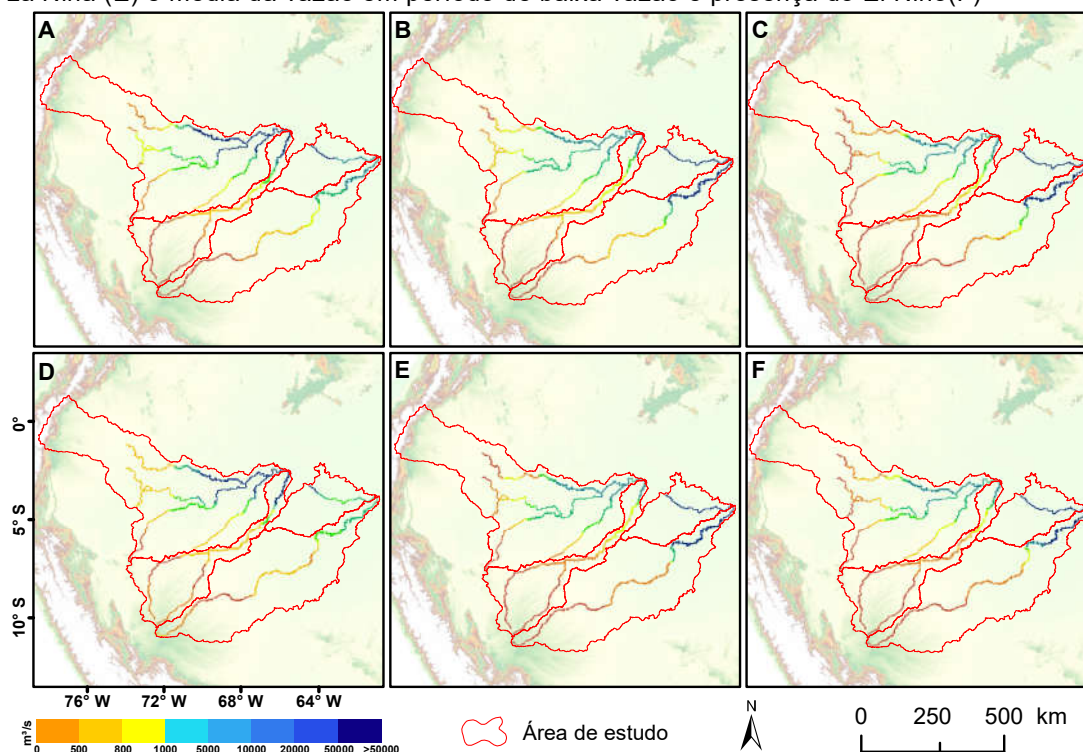


De maneira geral, em épocas de altas vazões com presença da La Niña os rios com maiores extensões apresentam aumento nas vazões, enquanto que, nos de menores extensões, ocorre o contrário. Já na presença do El Niño, ocorre redução das vazões nos rios com maiores extensões e pouco afeta os rios com menores extensões (MARENGO e SOARES, 2003).

No período da baixa vazão os menores valores foram observados sob a influência do fenômeno El Niño e as maiores vazões no período neutro. Sendo assim, em meses com baixas vazões Foley *et al.* (2002) encontraram resultados semelhantes para estes meses, onde as mínimas vazões estão relacionadas com eventos de El Niño e as máximas ao evento de La Niña (Figura 16D, 16E e 16F).

Nota-se que na região central da área de estudo não ocorre grandes alterações nos valores das vazões em nenhum dos períodos, fato explicado por Espinoza *et al.* (2013), onde os autores relatam pouca alteração no regime fluviométrico em regiões menos antropizadas e com cobertura vegetal abundante, como é o caso da região Amazônica.

Figura 16 – Representação da média da vazão no período de alta vazão para os anos neutros (A), média da vazão em período de alta vazão e presença da La Niña (B), média da vazão em período de alta vazão e presença do El Niño (C), média da vazão em período de baixa vazão em anos neutros (D), média da vazão em período de baixa vazão e presença da La Niña (E) e média da vazão em período de baixa vazão e presença do El Niño(F)





A porcentagem da redução ou aumento das vazões em decorrência do fenômeno climático El Niño são apresentadas nas Figura 17A e 17B. Quando comparado com os períodos neutros, no período caracterizado por altas vazões (Figura 17A), as amplitudes variam de -88 a 99%, com alternância de aumento e redução da vazão. Neste sentido, Espinoza *et al.* (2013) afirmam que essa alternância pode ser influenciada, principalmente, pela desuniformidade das bacias, uso e ocupação da terra, intensidade das chuvas e seu tempo de concentração.

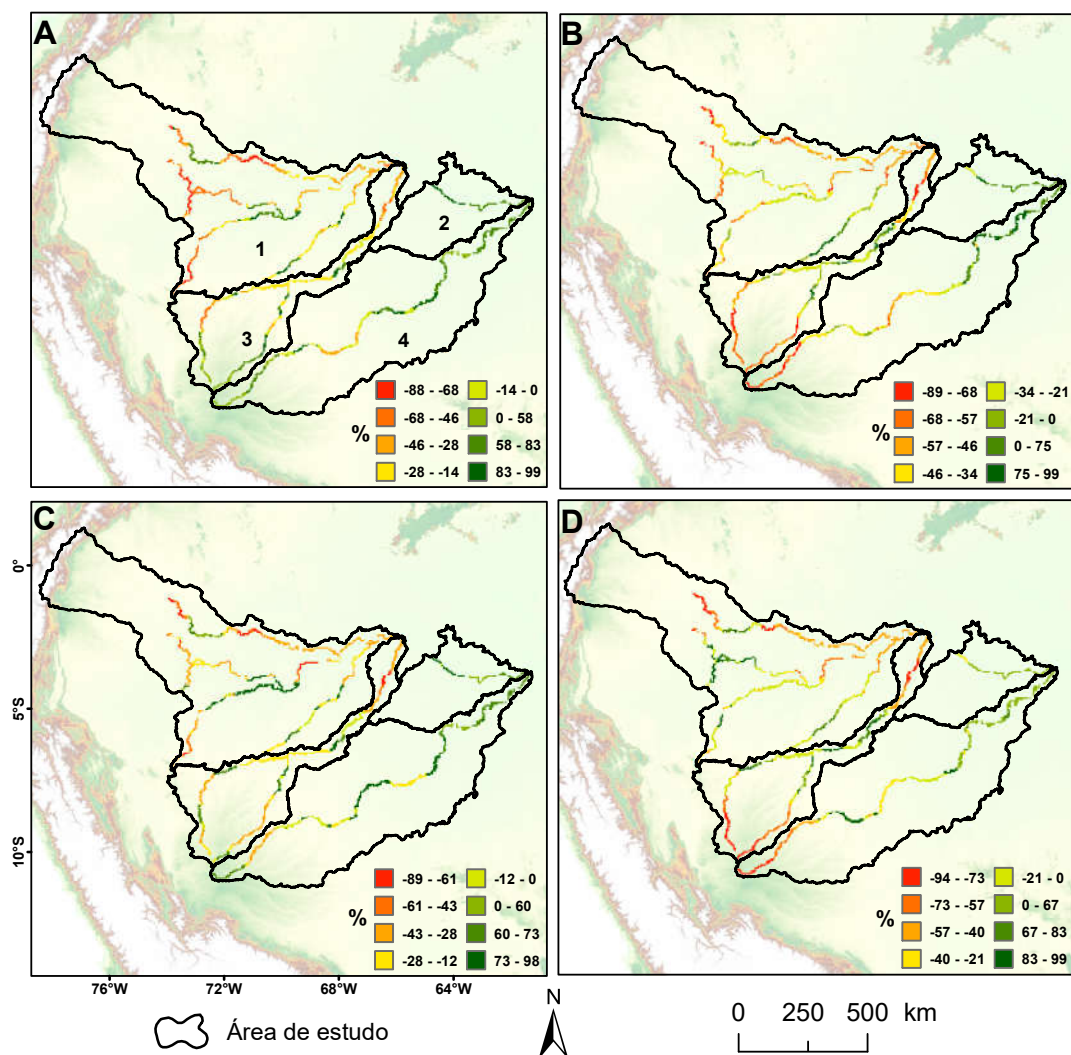
Neste aspecto, a maior redução das vazões está localizada na parte norte da região estudada, entre 0 e 5 graus de latitude, mais próxima da linha do Equador (Figura 17A). Estes resultados corroboram com aqueles encontrados por Trenberth (1997) que afirma que essas regiões são as mais afetadas pelos fenômenos El Niño e La Niña.

A maior parte das porcentagens positivas estão concentradas na região leste, mais precisamente na sub-bacia do rio Purus (Figura 17A). Nesta mesma área de estudo, Pereira, Szlafsztein e Araújo (2016) relataram aumento das vazões, ocasionado pela presença de vegetação intacta e hidrografia localizada em áreas mais ao norte, acima de 5 graus de latitude.

No período caracterizado por baixas vazões com presença do fenômeno El Niño (Figura 17B), a amplitude das porcentagens variam entre -89 e 99%, indicando que esse fenômeno é mais intenso nos meses em que as vazões estão com valores inferiores (janeiro, fevereiro e março). Estes resultados corroboram com aqueles encontrados por Pereira; Szlafsztein e Araújo (2016) que afirmam que as maiores reduções das vazões se concentram na parte sul da região onde estão localizadas as áreas mais urbanizadas.

A diferença entre o período neutro e La Niña para os meses de maiores vazões é apresentada na Figura 17C. Observa-se que a amplitude das vazões variam de -89 a 98% com maior incremento nas vazões quando comparado com os períodos de ocorrência do El Niño (-88 a 99%). Marengo *et al.* (2008) afirmam que a redução das vazões, mesmo com aumento dos totais precipitados, pode está relacionada com a diferença de sazonalidade, devido ao atraso das ocorrências dos meses mais chuvosos no período de La Niña.

Figura 17 – Diferença entre período neutro e El Niño em meses de alta vazão (A), neutro e El Niño em baixa vazão (B), neutro e La Niña em meses de alta vazão (C) e neutro e La Niña em meses de baixa vazão (D)



1: sub-bacia do rio Javari, 2: sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, 3: sub-bacia do rio Auatí-Paraná, 4: sub-bacia do rio Purus.

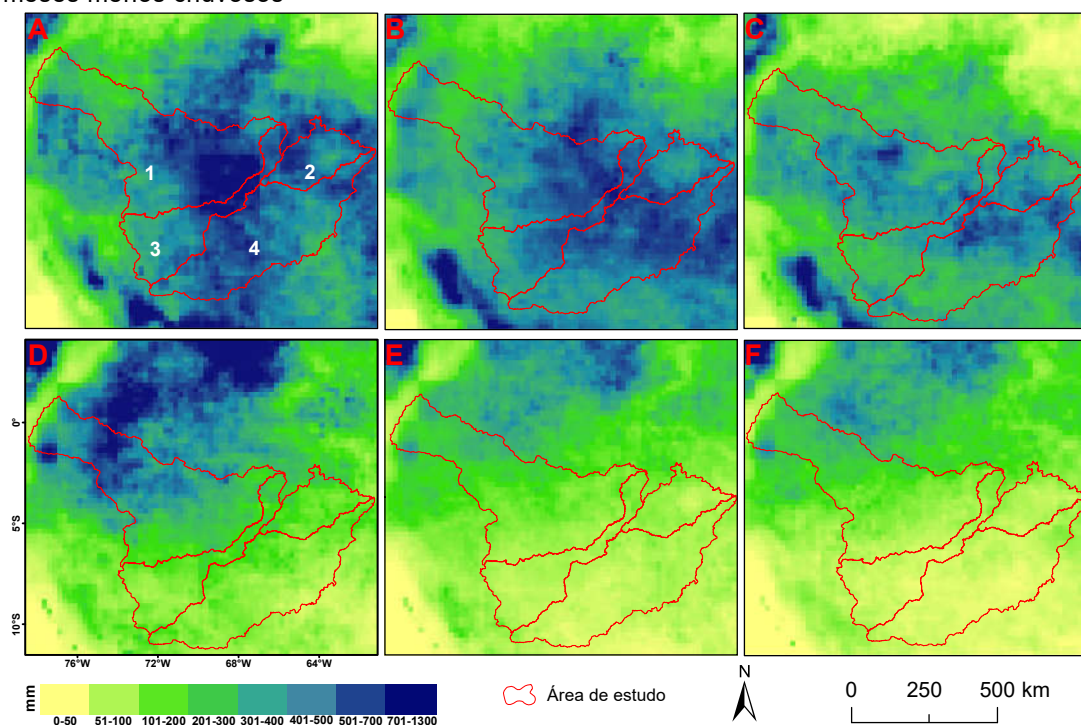
### 5.3. Análise da precipitação em períodos neutros, El Niño e La Niña

A variação espacial das precipitações nos meses mais chuvosos na região Amazônica (janeiro, fevereiro e março) sem influência dos fenômenos El Niño e La Niña é apresentada na Figura 18A. Ao compararmos o fenômeno La Niña (Figura 18B) com o período neutro (Figura 18A), observa-se uma redução das chuvas, em especial na parte central, região de concentração dos maiores índices pluviométricos. Uma redução ainda maior ocorre em decorrência do fenômeno El

Niño apresentado na Figura 18C, na qual pode ser observada uma redução significativa das precipitações em comparação aos períodos anteriores.

Nos meses com menores índices pluviométricos (julho, agosto e setembro) influenciados pelo fenômeno La Niña (Figura 18E), é possível verificar uma redução das chuvas, em comparação ao período neutro (Figura 18D). Na Figura 18F são apresentados os valores de precipitação referentes aos meses com influência do fenômeno El Niño. Nota-se que existe pouca diferença na área de estudo, entre os índices pluviométricos com influência dos fenômenos El Niño e La Niña, se comparados com o período neutro.

Figura 18 – Distribuição espacial entre os períodos com maiores e menores índices pluviométricos, onde, A - período neutro em meses mais chuvosos, B - período com influência de La Niña em meses mais chuvosos, C - período com influência do El Niño em meses mais chuvosos, D - período neutro em meses menos chuvosos, E - período com influência de La Niña em meses menos chuvosos e F - período com influência de El Niño em meses menos chuvosos



1: sub-bacia do rio Javari, 2: sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, 3: sub-bacia do rio Auatí-Paraná, 4: sub-bacia do rio Purus.

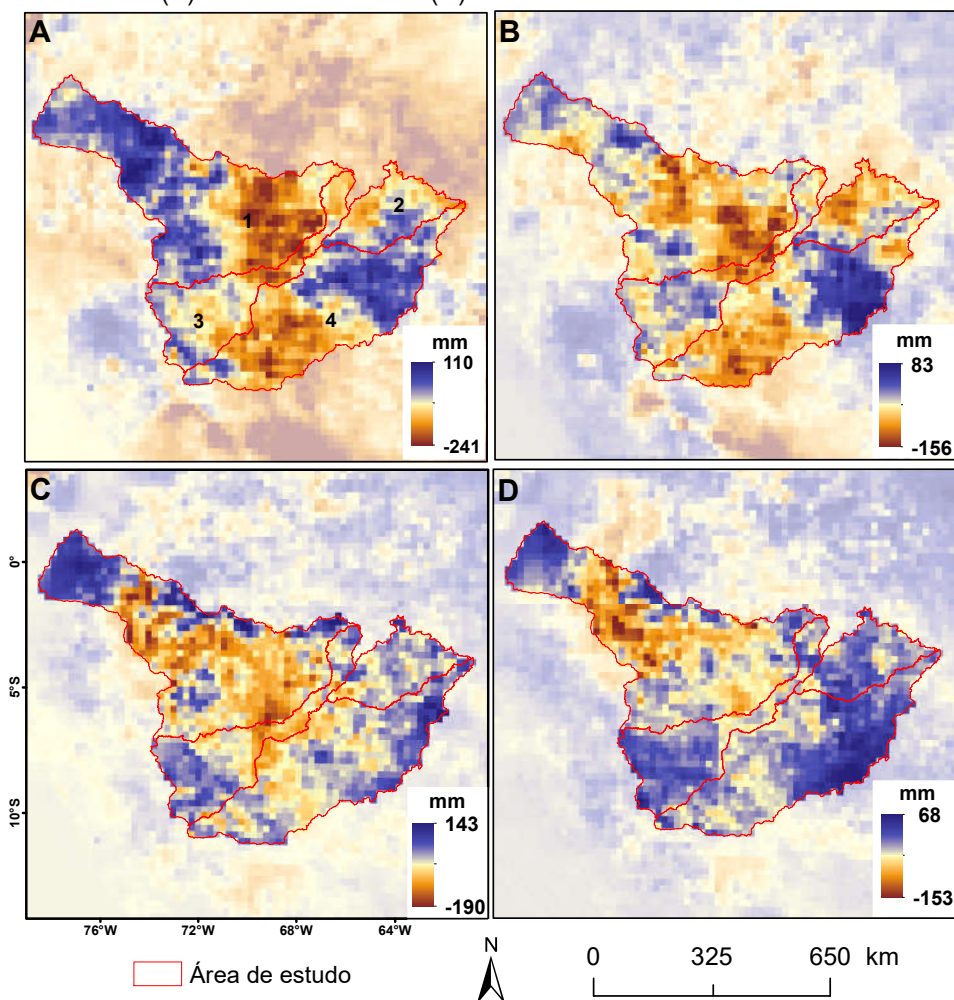
Na Figura 19A são apresentadas as diferenças entre o fenômeno El Niño e o período neutro em meses mais chuvosos, nota-se uma redução média de 241mm para os meses com influência do fenômeno El Niño, enquanto em outras

regiões da área de estudo há aumento de 110mm, demonstrando que este fenômeno atua distintamente sobre a área de estudo.

Nos períodos menos chuvosos com influência do fenômeno El Niño (Figura 19C), observa-se que o aumento e redução das chuvas variaram entre 143 e -190mm. Neste cenário, a parte norte destacou-se com um aumento nas precipitações, enquanto as taxas negativas concentraram-se na parte central da área de estudo. Vale salientar que os meses com baixos índices pluviométricos são caracterizados por ION com menores valores, condicionados pela redução da intensidade do fenômeno. De maneira antagônica nos meses mais chuvosos são obtidos os maiores valores de ION, o que condiciona períodos mais intensos do fenômeno El Niño.

A diferença entre os meses com maiores e menores intensidades pluviométricas sob a influência do fenômeno La Niña, são apresentados nas Figura 19B e 19D, onde há aumento em algumas áreas na ordem de 83 e 68 mm para os meses com maiores e menores precipitações, respectivamente. Nota-se que nos meses com menores intensidades pluviométricas (Figura 19C e 19D) ocorre um maior incremento nas precipitações sob a influência do fenômeno El Niño em comparação ao fenômeno La Niña. De acordo com Marengo *et al.* (2008) tais características estão relacionadas as mudanças do período mais chuvoso em decorrência ao fenômeno La Niña .

Figura 19 – Diferença do índices pluviométricos entre El Niño e período neutro em meses mais chuvosos (A) e menos chuvosos (C), La Niña e período neutro em meses mais chuvosos (B) e menos chuvosos (D)



1: sub-bacia do rio Javari, 2: sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, 3: sub-bacia do rio Auatí-Paraná, 4: sub-bacia do rio Purus.

#### 5.4. Análise da evapotranspiração em períodos neutros, El Niño e La Niña

Nas Figuras 20A e 20D são apresentadas as variações da evapotranspiração nos períodos neutros, em meses de alta e baixa precipitação, respectivamente. É possível observar nitidamente uma pequena variação (55 mm) entre os valores mínimos e máximos da evapotranspiração na Figura 20A. Nestas condições os maiores valores se concentram na região sul da área de estudo, onde está localizada a capital do estado do Acre. De acordo com Silva, Lucio e Brown (2015) as regiões mais urbanizadas possuem valores maiores de evapotranspiração pelo fato, das amplitudes estarem associadas aos maiores

valores de radiação solar global, caracterizada por serem áreas com cobertura vegetal reduzida.

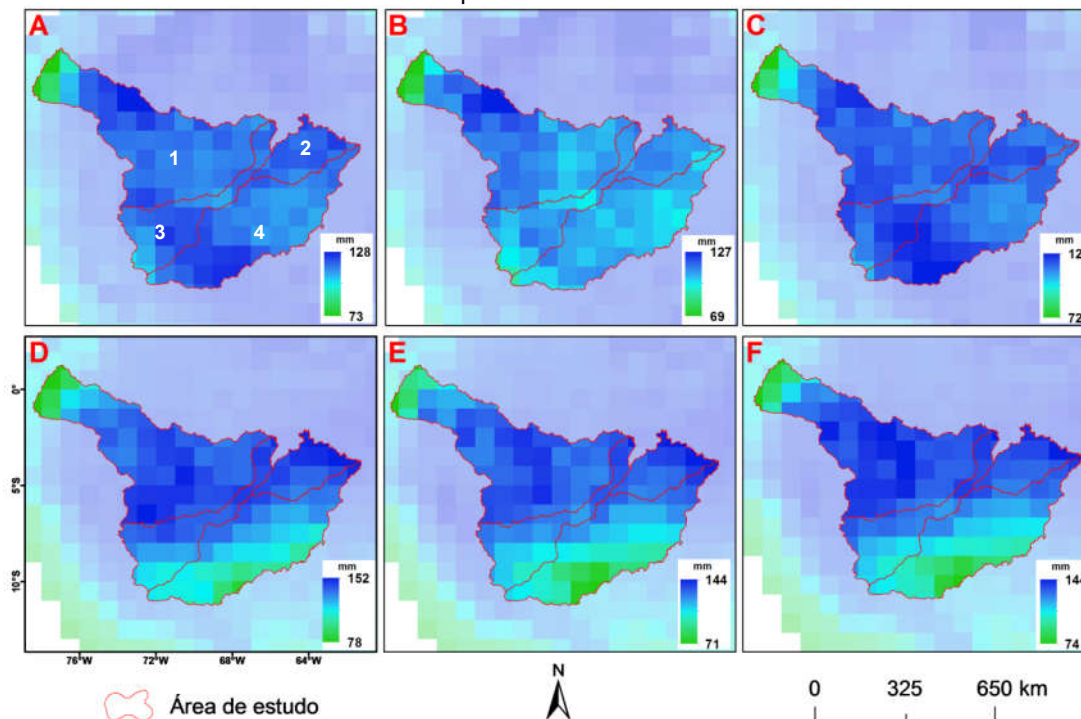
Entretanto, nos meses com menores precipitações as áreas com maiores taxas de evapotranspiração se concentram na região norte da área de estudo (Figura 20D). Esta região é menos antropizada e com cobertura vegetal mais densa, desta forma, possui uma maior incidência da radiação solar, aumentando a transpiração vegetal e a evaporação dos corpos d'água, conseqüentemente, condicionando um incremento na evapotranspiração (FLANTUA *et al.*, 2015).

Analisando as imagens dos períodos com ocorrência do fenômeno La Niña nos meses com maiores e menores intensidades pluviométricas (Figura 20B e 20E), nota-se que as amplitudes mínimas foram reduzidas em comparação ao período neutro e ao fenômeno El Niño, variando entre 69 - 127mm para os meses com maiores intensidades pluviométricas e 71 - 144 mm para com menores intensidades pluviométricas. Fica evidenciado que sob a influência do fenômeno La Niña (Figura 20B), as reduções da evapotranspiração que comumente ocorriam na região sul nos períodos neutros passaram a ocorrer na região oeste. Tais resultados são explicados pelas modificações nos períodos chuvosos em decorrência do fenômeno La Niña (MARENGO *et al.*, 2008).

Para os períodos com ocorrência do fenômeno El Niño com maiores e menores intensidades pluviométricas (Figura 20C e 20F), não são observadas diferenças contundentes ao compararmos com o período neutro. Em relação aos meses com menores índices pluviométricos, também foi observado pouca diferença entre as amplitudes, devido a ocorrência do fenômeno El Niño, principalmente nos meses com menos chuva (Figura 20E e 20F).



Figura 20 – Distribuição espacial da evapotranspiração entre os períodos com maiores e menores índices pluviométricos, onde, A - período neutro em meses mais chuvosos, B - período com influência de La Niña em meses mais chuvosos, C - período com influência do El Niño em meses mais chuvosos, D - período neutro em meses menos chuvosos, E - período com influência de La Niña em meses menos chuvosos e E - período com influência de El Niño em meses menos chuvosos

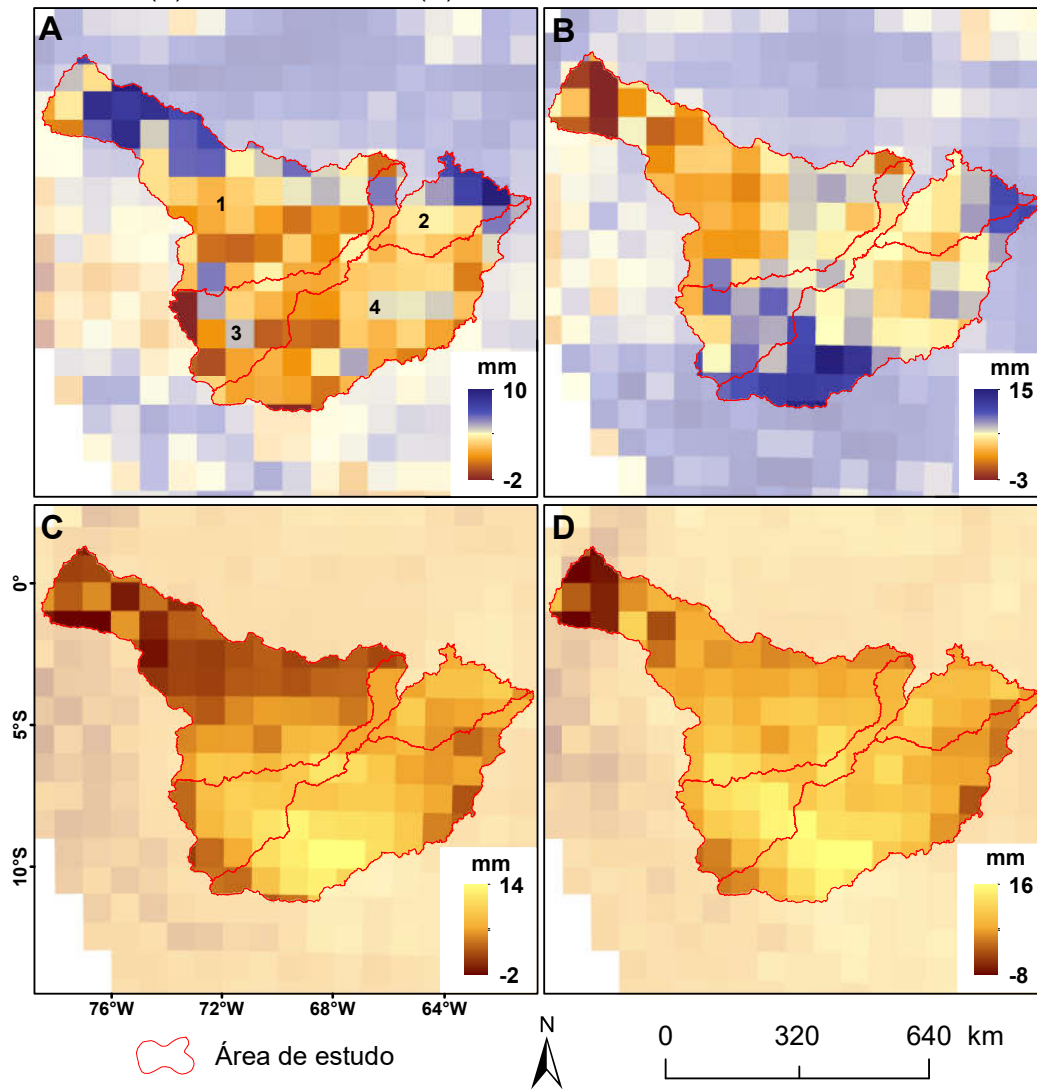


1: sub-bacia do rio Javari, 2: sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, 3: sub-bacia do rio Auatí-Paraná, 4: sub-bacia do rio Purus.

Na Figura 21 são apresentadas as diferenças dos valores entre a presença dos fenômenos (El Niño e La Niña) e os períodos neutros. Observou-se uma variação de -2 a 10 mm com a presença do fenômeno El Niño nos períodos com maiores intensidades pluviométricas, enquanto, nos períodos com menores intensidades pluviométricas a variação foi de -2 a 14 mm (Figura 21A e 21C).

Para o período com a presença do fenômeno La Niña (Figura 21B e 21D), as maiores reduções se concentraram na região sul (áreas urbanizadas). Observou-se que as maiores reduções da evapotranspiração ocorreram na presença do fenômeno La Niña, principalmente nos meses com menores intensidades pluviométricas (Figura 21D). Resultados semelhantes foram encontrados por (FERRAZ, 2008; SILVA, LUCIO e BROWN, 2015), em pesquisas semelhantes no estado do Acre, onde os autores afirmam que as maiores variações ocorrem em áreas recentemente desmatadas e/ou áreas urbanas.

Figura 21 – Diferença da evapotranspiração entre El Niño e período neutro em meses mais chuvosos (A) e menos chuvosos (C), La Niña e período neutro em meses mais chuvosos (B) e menos chuvosos (D)



1: sub-bacia do rio Javari, 2: sub-bacia do rio Javari e Auatí-Paraná, 3: sub-bacia do rio Auatí-Paraná, 4: sub-bacia do rio Purus.



## 5.5. Análise estatística

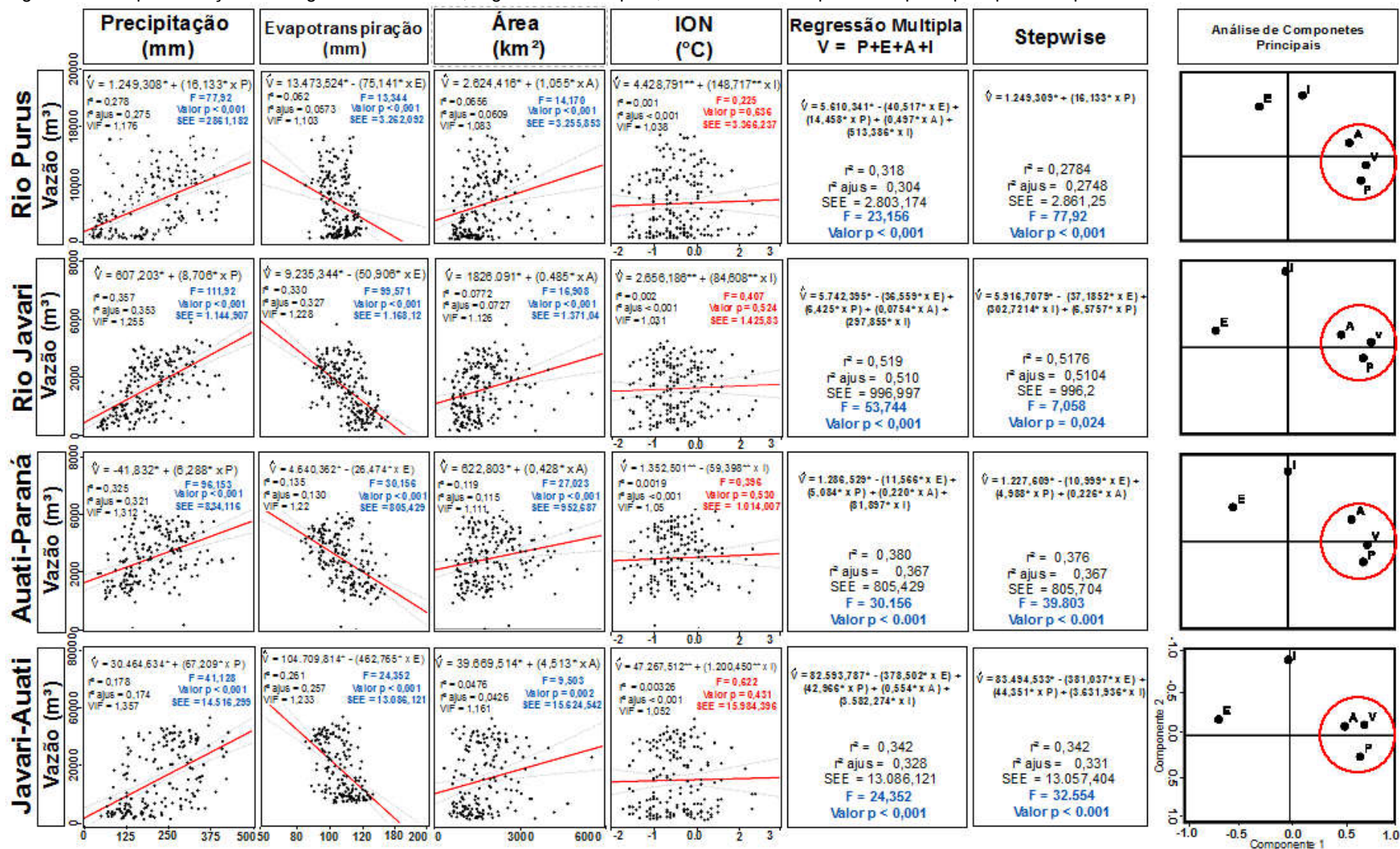
As regressões lineares entre as vazões e as variáveis independentes (precipitação, evapotranspiração, área e ION) são demonstradas na Figura 22. Foram obtidas para todas as sub-bacias  $r^2$  e  $r_{ajus}$  abaixo de 0,5, indicando menos de 50% de explicação da variável dependente sobre a independente. Os maiores valores de  $r^2$  e  $r_{ajus}$  calculados foram observados na sub-bacia do rio Javari (0,357 e 0,353, respectivamente). Entretanto todos os valores F e P foram significativos ao nível de 5%, onde o  $F_{tabelado}$  (2,228) foi maior que o  $F_{calculado}$ , o mesmo aconteceu para o valor P (valor P < 0,05). Com exceção apenas para a variável ION, não sendo significativa em nenhuma sub-bacia, apresentando valores  $F_{calculado} < F_{tabelado}$  e valor P > 0,05.

Nas regressões múltiplas são incluídas todas as variáveis (precipitação, evapotranspiração, área e ION), em relação a vazão (Figura 22), onde os maiores valores de  $r^2$  e  $r_{ajus}$ , foram observados na sub-bacia do rio Javari com 0,519 e 0,510, respectivamente. Em todas as sub-bacias o valor F e P foram significativos ao nível de 5% ( $F_{tabelado} > F_{calculado}$ ), o mesmo aconteceu para o valor P (valor P < 0,05).

No procedimento de *Stepwise* é demonstrada a exclusão das variáveis que apresentaram os maiores valores de colinearidade (Figura 22). Observa-se que com a retirada da variável área coberta por neve foi possível obter o melhor ajuste para a sub-bacia do rio Javari, resultando em valores de 0,517 e 0,501 para o  $r^2$  e  $r_{ajus}$ , respectivamente.

Na análise de componentes principais exposta na Figura 22 é demonstrada um agrupamento entre as variáveis vazão, precipitação e área coberta por neve em todas as sub-bacias. Nota-se um comportamento semelhantes entre as variáveis supracitadas, de forma que a localização da variável evapotranspiração ficou sempre no primeiro quadrante. Este comportamento foi inverso ao obtido no agrupamento que ocorre no segundo quadrante, de modo que o aumento ou a redução de uma das variáveis (precipitação, área e ION), altera inversamente a evapotranspiração. Para o índice ION, observa-se que sua localização foi sempre entre o primeiro e o segundo quadrante, evidenciando um comportamento neutro em relação as demais variáveis.

Figura 22 – Representação das regressões lineares, regressões múltiplas, e análise de componentes principais para as quatro sub-bacias



\* - Significativo a 0,05 pelo teste t, \*\* - não significativo a 0,05 pelo teste

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se que:

- Na sub-bacia do rio Purus não foi observada a influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos valores de menores vazões mensais;
- Os índices pluviométricos influenciaram mais fortemente as vazões nas sub-bacias do que as modificações advindas das áreas cobertas por neve;
- Os valores de evapotranspiração são pouco afetados na presença dos fenômenos El Niño e La Niña;
- Os efeitos do fenômeno La Niña não exercem influências imediatas nas médias mensais da precipitação pluviométrica, estas influências serão notadas apenas no ano posterior;
- O fenômeno El Niño de intensidade forte influencia negativamente as médias mensais da precipitação e vazão na região estudada, de maneira que as médias são reduzidas consideravelmente na presença deste fenômeno;
- As correlações entre as áreas cobertas por neve e as vazões foram caracterizadas como fracas em todas as sub-bacias estudadas;
- Os menores valores de vazão foram observados nos períodos com influência do fenômeno El Niño, enquanto os maiores valores para a vazão foram obtidos em períodos neutros; e,
- A metodologia proposta pode ser adaptada para outras áreas ou bacias hidrográficas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A. **AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS EFEITOS DA INUNDAÇÃO EM BRASILEIA , ACRE**. Porto velho - RO, 2015.

ALMEIDA, C. T. DE *et al.* Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**. v. 22, n. 3, p. 279–286, 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. [S.l.], 2014. Disponível em: <[http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=95&fname=GE\\_OFT\\_UNIDADE\\_PLANEJ\\_HIDRICO\\_SIRGAS.zip&access=private](http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=95&fname=GE_OFT_UNIDADE_PLANEJ_HIDRICO_SIRGAS.zip&access=private)>. Acesso em: 27 mar. 2017.

ANDAM-AKORFUL, S. A. *et al.* Multi-model and multi-sensor estimations of evapotranspiration over the Volta Basin, West Africa. **International Journal of Climatology**. v. 35, n. 10, p. 3132–3145, 2014.

ASSAYAG, E. S. Declínio das Geleiras da bacia do rio Amazonas. **Statewide Agricultural Land Use**. v. 1, 2015..

CNPM. ETRS. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/cdbrasil/txt/landsat.htm>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

DETTINGER, M. D.; DIAZ, H. F. Global characteristics of stream flow seasonality and variability. **Journal of Hydrometeorology**. v. 1, n. 4, p. 289–310, 2000..

DISC, G. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).. Disponível em: <<https://disc.gsfc.nasa.gov/TRMM>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

DOZIER, J. Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper. **Remote Sensing of Environment**. v. 28, p. 9–22, 1989.

ERDENETUYA, M. *et al.* Glacier change estimation using landsat tm data. **Remote Sensing and Spatial Information Science**. v. 36, p. 240–243, 2006.

ESPINOZA, J. C. *et al.* The major floods in the amazonas river and tributaries (western amazon basin) during the 1970–2012 period: a focus on the 2012 flood. **Journal of Hydrometeorology**. v. 14, n. 3, p. 1000–1008, 2013.

FERNANDO, F. *et al.* Influência do el niño e la niña na precipitação máxima diária do estado de GOIÁS CPRM / SGB - Serviço Geológico do Brasil , Porto Alegre , RS , Brasil Instituto Federal de Educação , Ciência e Tecnologia de Goiás ( IFG ), Goiânia , GO , Brasil. v. 1997, n. 1997, p. 429–440, 2013.

FERRAZ, P. De A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para Região de Rio Branco - Acre**: Universidade Federal do Acre, 2008.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 41, n. 4, p. 566–576, 2011.

FLANTUA, S. G. A. *et al.* Climate variability and human impact on the environment in South America during the last 2000 years: synthesis and perspectives. **Climate of the Past Discussions**. v. 11, n. 4, p. 3475–3565, 2015.

FLORENZANO, T. G. **Os Satélites e Suas Aplicações**. 1ª Edição ed. São José dos Campos - SP, 2008.

FLORENZANO, T. G.. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. Oficina de ed. São Paulo, 2011.

FOLEY, J. A. *et al.* El Niño-Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**. v. 16, n. 4, p. 79-1-79–20, 2002.

FUJII, Y. *et al.* Assimilating ocean observation data for ENSO monitoring and forecasting. **In Tech Open**, 2012.

GESDISC. **Document for GLDAS Version 2 Data Products**. 2017.

GLOOR, M. *et al.* Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**. v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 2013.

HALL, D. K.; RIGGS, G. A; SALOMONSON, V. V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. **Remote Sensing of Environment**. v. 54, n. 2, p. 127–140, 1995..

HERRERA, M. C. P.; CORREA, C. A. P. An assessment of El Niño and La Niña impacts focused on monthly and seasonal rainfall and extreme dry / precipitation events in mountain regions of Colombia and México. **Advances in Geosciences**. p. 23–33, 2016.

HUANG, X. *et al.* Remote Sensing of Environment Impact of climate and elevation on snow cover using integrated remote sensing snow products in Tibetan Plateau. **Remote Sensing of Environment**. v. 190, p. 274–288, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc250](ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250)>. Acesso em: 27 mar. 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <[www.dgi.inpe.br/Suporte](http://www.dgi.inpe.br/Suporte)>. Acesso em: 19 ago. 2016.

JI, D. *et al.* Remote Sensing of Environment A total precipitable water retrieval method over land using the combination of passive microwave and optical remote sensing. **Remote Sensing of Environment**. v. 191, p. 313–327, 2017.

KUMMEROW, C. Beamfilling errors in passive microwave rainfall retrievals. **Journal of Applied Meteorology**. v. 37, n. 4, p. 356–370, 1998..

KUMMEROW, C. *et al.* The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**. v. 39, n. 12, p. 1965–1982, 2000.

LI, W. *et al.* Impact of two different types of el nino events on teh amazon climate ad ecosystem productivity. **Oxford Journals**. v. 4, n. 1–2, p. 91–99, 2010.

LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. De. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 6, p. 1275–1291, 2011.

LIMBERGER, L.; ELISA, M.; SILVA, S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **Geosp – Espaço e Tempo**. v. 30, n. 3, p. 657–675, 2016.

LV, M. *et al.* Water budget closure based on GRACE measurements and reconstructed evapotranspiration using GLDAS and water use data for two large densely-populated mid-latitude basins. **Journal of Hydrology**. v. 547, p. 585–599, 2017.

MAKARIEVA, A M.; GORSHKOV, V. G. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. **Nuclear Physics**. p. 2621–2673, 2006.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade Caracterização**. 2006.

MARENGO, J. A. *et al.* The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**.v. 21, n. 3, p. 495–516, 2008..

MARENGO, J. A. *et al.* The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**. v. 38, n. 12, p. 1–5, 2011.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC 2001. **Clima e Recursos Hídricos**. p. 209–233, 2003.

MASIH, I. *et al.* Assessing the Impact of Areal Precipitation Input on Streamflow Simulations Using the SWAT Model. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 47, n. 1, p. 179–195, 2011.

MONTGOMERY, D. C. **Introducción al Análisis de Regresión Lineal**. 3ª Edição ed. México: Compañía Editorial Continental, 2006.

MORALES-ARNAO, Benjam. **Glaciers of South America - glaciers of perú.**, 1999.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2011.

MORENO, H. A.; VIVONI, E. R.; GOCHIS, D. J. Utility of Quantitative Precipitation Estimates for high resolution hydrologic forecasts in mountain watersheds of the Colorado Front Range. **Journal of Hydrology**. v. 438–439, p. 66–83, 2012.

NASA. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

NASA. TIROS. Disponível em: <<https://science.nasa.gov/missions/tiros>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

NASA;NOAA. GOES. 2017. Disponível em: <<http://www.goes-r.gov/>>.

NASTOS, P. T.; KAPSOMENAKIS, J.; PHILANDRAS, K. M. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. **Atmospheric Research**. v. 169, p. 497–514, 2016.

NERINI, D. *et al.* A comparative analysis of TRMM – rain gauge data merging techniques at the daily time scale for distributed rainfall – runoff modeling applications. **American Meteorological Society**. p. 2153–2168, 2015.

NOAA. TIROS-N. 2017a. Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/40years.html>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

\_\_\_\_\_. National Weather Service: Cold & Warm Episodes by Season, Climate Prediction Center. 2017b. Disponível em: <[www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/)>. Acesso em: 23 mar. 2017.

NOBRE, P.; SRUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical atlantic and south america. **Journal of Climate**. v. 9. p. 2464–2479, 1996.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, Ê. P. De; GALVÍNCIO, J. D. Análise Da Estimativa De Precipitação Do Trmm Em Uma Sub-Bacia Da Amazônia Ocidental. **revista de Geografia - Recife**. v. 25, n. 1, p. 6–20, 2008.

NSIDC. National Snow & Ice data Center. 2016. Disponível em: <[https://nsidc.org/data/docs/daac/modis\\_v5/mod29\\_modis\\_terra\\_seaice\\_5min\\_swath\\_1km.gd.html](https://nsidc.org/data/docs/daac/modis_v5/mod29_modis_terra_seaice_5min_swath_1km.gd.html)>. Acesso em: 16 ago. 2016.

OLIVEIRA, N. D. L.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, R. G. Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica no estado do Mato Grosso. v. 1982, p. 284–297, 2015.

PANDEY, P.; RAMANATHAN, A. L.; VENKATARAMAN, G. Remote sensing of mountain glaciers and related hazards. **Intech**. p. 1–32, 2015.

PARK, J.; CHOI, M. Estimation of evapotranspiration from ground-based meteorological data and global land data assimilation system (GLDAS). **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. v. 29, n. 8, p. 1963–1992, 2014.

PENALBA, O. C.; RIVERA, J. A. Precipitation response to El Niño/La Niña events in southern South America - emphasis in regional drought occurrences. **Advances in Geosciences**. v. 42, n. 2005, p. 1–14, 2016.

PEREIRA, C. C. *et al.* Avaliação da temperatura de superfície continental (TSC) e o uso da terra na bacia da usina hidrelétrica de barra dos coqueiros (GO), por meio do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 18, p.

307–326, 2016.

PEREIRA, D. M.; SZLAFSZTEIN, C. F. Ameaças e desastres naturais na amazônia sul ocidental: análise da bacia do rio purus natural hazards and disasters in south western amazon region: analysis of purus river basin. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**. v. 35, p. 68–94, 2015.

PEREIRA, D. M.; SZLAFSZTEIN, C. F.; ARAÚJO, F. A. Avaliação de risco de desastres na bacia hidrográfica do rio Purus (Brasil) com base em índices compostos. **Revista da Anpege**. v. 12, n. 17, p. 167–190, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª edição ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

POVEDA, G.; MESA, O. J. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. **Journal of Climate**. v. 10, n. 10, p. 2690–2702, 1997.

POWER, S. B. Asymmetry in the Australian response to ENSO and the predictability of inter-decadal changes in ENSO teleconnections. **BMRC research report**. n. 113, 2005.

RACOVITEANU, A. E.; WILLIAMS, M. W.; BARRY, R. G. Optical remote sensing of glacier characteristics: A review with focus on the Himalaya. **Sensors**. v. 8, n. 5, p. 3355–3383, 2008.

RAUP, B. *et al.* The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change. **Global and Planetary Change**. v. 56, n. 1–2, p. 101–110, 2007.

REES, W. G. **Physical Principles Of Remote Sensing**. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

REES, W. G. **Remote Sensing of Glaciers**. 1ª ed. AK Leiden, The Netherlands: CRC press, 2010.

REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão: Teoria à aplicação em Manejo Florestal**. Viçosa - MG, 1992.

RIBEIRO, R. R.; SIMÕES, J. C.; DANI, N. Mudanças investigadas nas massas de gelo dos Andes tropicais. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 15, n. 3, p. 131–145, 2010.

RODELL, M. *et al.* The global land data assimilation system. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 2004. v. 85, n. 3, p. 381–394. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-85-3-381>>.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos - SP, 2007.

SANTOS, J. L. The Impact of El Niño - Southern oscillation events on south America. **European Geosciences Union**. n. 6, p. 221–225, 2006.

SANTOS, S. R. Q. dos *et al.* Frequências dos eventos extremos de seca e chuva



na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 10, n. 2, p. 468–478, 2017.

SCHOWENGERDT, R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. **Journal of environmental management**. v. 95, n. 1, p. 98–107, 2012.

SERRÃO, E. A. De O. *et al.* Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões. **Rev. Geografica Acadêmica**. v. 9, n. 2, p. 5–20, 2015.

SICHANGI, A. W. *et al.* Remote sensing of environment estimating continental river basin discharges using multiple remote sensing data sets. **Remote Sensing of Environment**. v. 179, p. 36–53, 2016.

SILVA, H. J. F.; LUCIO, P. S.; BROWN, I. F. Análise mensal, sazonal e interanual da evapotranspiração de referência para o sudoeste da Amazônia, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 8, p. 1711–1729, 2015.

SILVA, V. C.; REIS, R. R.; CARVALHO, J. A. L. Dinâmica fluvial e implicações sociais no furo do Paracúba, AM. **Revista Geonorte**. v. 10, n. 1, p. 265–269, 2014.

STOCKDALE, T. N. *et al.* Understanding and predicting seasonal-to-interannual climate variability - The producer perspective. **Procedia Environmental Sciences**. v. 1, n. 1, p. 55–80, 2010.

TAPIADOR, F. J. *et al.* Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. **Atmospheric Research**. v. 104–105, p. 70–97, 2012.

THAKKAR, A. K. *et al.* Impact assessment of watershed management programmes on land use / land cover dynamics using remote sensing and GIS. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. v. 5, p. 1–15, 2017.

TRENBERTH, K. E. **Signal Versus Noise in the Southern Oscillation. Monthly Weather Review**.

TRENBERTH, K. E.. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 78, n. 12, p. 2771–2777, 1997.

TRENBERTH, K. E.; STEPANIAK, D. P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate**. v. 14, n. 8, p. 1697–1701, 2001.

VARIKODEN, H.; SAMAH, A. A.; BABU, C. A. Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate. **Journal of Hydrology**. v. 387, n. 3–4, p. 312–319, 2010.

VUILLE, M. Climate Change and Water Resources in the Tropical Andes. **IDB Technical Note**. n. 515, p. 29, 2013.

VUILLE, M.; KASER, G.; JUEN, I. Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation. **Global and Planetary Change**, 2008. v. 62, n. 1–2, p. 14–28.

WAN, Z. MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**. p. 33, 2013.

WENTZ, F. J. A. Climate record of environmental parameters derived from the tropical rainfall measuring mission ( TRMM ) microwave imager. **JOURNAL OF CLIMATE**. p. 6882–6902, 2015.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. **Proceedings of the 17th Climate Diagnostics Workshop**. p. 52–57, 1993.

YANG, T. *et al.* Characterization of spatio-temporal patterns for various GRACE- and GLDAS-born estimates for changes of global terrestrial water storage. **Global and Planetary Change**. v. 109, p. 30–37, 2013.

## I. Apêndice I

Comandos utilizados no software R para cálculo dos componentes principais

**library(vegan)** # Leitura da biblioteca necessária para os cálculos (necessário a instalação do pacote), pode ser utilizado o comando `install.packagens("vegan")`, ou no menu Pacotes – Instalar Pacotes.

**dados<-read.table("X:/Arquivos",header=T)** # leitura dos dados feitos a partir de um arquivo texto, Onde : dados = nome da variável (pode ser dados uma denominação qualquer), read.table = comando de leitura dos dados, X = letra da unidade onde se localizam os dados, /Arquivos = caminho da pasta onde estão salvos o arquivo.

**dados\_padron<-scale(dados)** # comando básico para mostrar na tela os dados, a fim de verificar erros ou falhas na importação, se tiver certeza quanto aos dados, poderá ser pulado esta etapa.

**resultado<-prcomp(dados\_padron)** # prcomp é a função para construir a PCA.

**resultado** # comando que mostrar os resultados dos desvios dos componentes principais e os loadings.

**summary(resultado)** # mostra a porcentagem de variância capturada por cada eixo.

**biplot(resultado)** # Plota os resultados da PCA em um gráfico de 2 dimensões.

**screeplot(resultado)** # plota o histograma dos componentes principais.