



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

**JULIANNA CARVALHO OLIVEIRA**

**CLIMATOLOGIA DO APORTE FLUVIAL NA  
PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA**

Salvador  
2014

**JULIANNA CARVALHO OLIVEIRA**

**CLIMATOLOGIA DO APORTE FLUVIAL NA  
PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia,  
Instituto de Geociências, Universidade Federal da  
Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau  
de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Mauro Cirano  
Co-orientador: Prof. Fernando Genz

Salvador  
2014

## TERMO DE APROVAÇÃO

JULIANNA CARVALHO OLIVEIRA

### CLIMATOLOGIA DO APORTE FLUVIAL NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Mauro Cirano - Orientador  
Doutor em Oceanografia Física pela University of New South Wales  
Universidade Federal da Bahia

Guilherme Camargo Lessa  
Doutor em Ciências Marinhas pela University of Sydney  
Universidade Federal da Bahia

Janini Pereira  
Doutora em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo  
Universidade Federal da Bahia

Salvador, 24 de novembro de 2014

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a meus pais, Silvana e José Carlos, pelo constante apoio em todas as minhas decisões até aqui. Agradeço por sempre terem me incentivado a escolher minha profissão com base em meus interesses pessoais e acreditar que eu poderia ter sucesso na carreira que eu viesse a optar. Obrigada por me apoiarem a entrar em Física, não me julgarem ao decidir mudar para Oceanografia, e se alegrarem por todas as minhas conquistas desde então. Dedico esse e todos os meus futuros trabalhos ao amor e estímulo que vocês sempre me passaram.

Agradeço especialmente a Mauro Cirano, Fernando Genz (Rajendra) e Wilton Aguiar pela confiança e parceria nesse trabalho. Foi rápido, mas foi um intENOS aprendizado, e eu fico muito feliz por ter se concluído como previsto. Rumo ao artigo!

Pelo aprendizado científico e profissional, agradeço aos meus demais orientadores durante esses 5 anos de curso: Paulo Mafalda, Ruy Kikuchi, da UFBA, e Sybren Drijfthout e Jennifer Mecking, do NOCS, obrigada por compartilharem ideias, conhecimento e técnicas. Ter trabalhado com vocês contribuiu muito para a minha formação. Também agradeço aos demais colegas e pesquisadores do LABPLAN e RECOR por terem auxiliado no desenvolvimento de trabalhos anteriores, os quais foram parte importante da minha graduação.

Também não poderia deixar de agradecer aos demais professores do curso de Oceanografia da UFBA pela contribuição no meu aprendizado. Um obrigada especial aos professores Hebe Queiroz, Vanessa Hatje e José Maria Landim por passarem tão bem muito do conhecimento oceanográfico que hoje me fazem ter certeza de querer seguir uma carreira de pesquisa em Oceanografia.

Não menos importante, agradeço ao meu marido Flávio por todo o apoio e por todos os "broque, Juju" nas vésperas de provas, pela ajuda no Matlab e pela paciência. Também agradeço a minha irmã Carol, à minha sogra Lupinha, e meus amados amigos da vida pelo apoio e amizade. Agradeço especialmente aos amigos e colegas que fiz na UFBA por compartilharem as dores de cabeça, as soluções de problemas e idas ao Tampinha.

Por fim, não poderia deixar de agradecer à Agência Nacional de Águas, em especial à Andreлина dos Santos, por conceder os dados utilizados nesse trabalho. Também agradeço ao CNPq por me conceder uma bolsa de graduação sanduíche no Ciência sem Fronteiras, e à FAPEX e FAPESB por bolsas anteriores de Iniciação Científica.

“Isn't it enough to see that a garden is beautiful without having to believe that there are fairies  
at the bottom of it too?”

- Douglas Adams

## RESUMO

O aporte fluvial que chega à Plataforma Continental é responsável por influenciar a dinâmica dos ambientes costeiros de diversas formas: desde o transporte de sedimentos continentais ou a ressuspensão de sedimentos marinhos, no caso de drenagens não excepcionais, à formação de vórtices de meso-escala. Assim, o conhecimento de como o aporte fluvial se comporta sazonalmente, e ao longo dos anos, é de importância crucial para a modelagem oceânica.

O Brasil se destaca no que diz respeito à influência do aporte de água doce no oceano, uma vez que possui 6 dos 50 maiores rios do mundo, identificados em Dai *et al.* 2009. Dentro desse contexto, surge a necessidade de se estimar qual o volume de entrada de água doce fluvial no oceano, uma vez que estações de monitoramento de vazão estão localizadas à montante da foz na maior parte dos rios, necessitando portanto de um método de aproximação. Nesse trabalho, foram utilizados dois métodos para essa estimativa: o método da razão entre áreas, e o método da regionalização.

De forma geral, concluiu-se que a Plataforma Continental Norte do Brasil recebe cerca de 97% do aporte fluvial mensal, seguida dos setores Nordeste e Sul com 1,4% cada, enquanto apenas 0,2% referem-se ao setor Sudeste. Quanto à variação ao longo do ano, os maiores aportes ocorrem no outono ou inverno, uma vez que a sazonalidade do aporte fluvial é resultado principalmente dos diferentes climas e regimes de precipitação que caracterizam o Brasil. Também foi avaliada a variação interanual da vazão dos rios e sua relação com eventos de El Niño Oscilação Sul, bem como com a ação antrópica.

**Palavras-chaves:** APORTE FLUVIAL, PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA, SAZONALIDADE.

## ABSTRACT

River runoff into the continental shelf affects the coastal environment in many ways: from sediment input or marine sediments resuspension for small rivers, to meso-scale eddies formation in case of higher river discharges. Therefore, for ocean modeling it is crucial to understand the seasonal and interannual river runoff variability.

Brazil stands out when it comes to river runoff into the ocean, since 6 out of the 50 largest rivers classified by Dai *et al.* 2009 are located there. From that comes the need to estimate how much is the riverine freshwater input into the coastal ocean, giving that the majority of the streamflow monitoring stations are not at the river mouths, but somewhere upstream. In this study two different methods were used in order to estimate the streamflow at the mouths: approximation based on the area ratio and the regionalization procedure.

Overall the Brazilian north continental shelf receives monthly about 97% of the river runoff, followed by the northeast and south continental shelves with about 1,4% each, and lastly the southeast continental shelf, with 0,2%. It was noticed that the major river discharges through the year happens in autumn or winter, since the streamflow seasonal behavior is mainly a consequence of the different climate types and precipitation patterns found in Brazil. In addition, the interannual variability of the streamflow was assessed, also looking at similarities regarding both El Niño Southern Oscillation and anthropic impacts with streamflow anomalies through time.

**KEYWORDS:** RIVER RUNOFF; BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF; SEASONALITY.

# SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	4
<b>2 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Plataforma Continental Norte.....	6
2.2 Plataforma Continental Nordeste.....	8
2.3 Plataforma Continental Sudeste .....	9
2.4 Plataforma Continental Sul.....	10
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Cálculo da vazão na foz.....	12
3.1.1 Método de regionalização .....	12
3.1.2 Método de razão entre áreas .....	13
3.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS) .....	14
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>14</b>
4.1 Plataforma Continental Norte.....	14
4.1.1 Seleção de dados e regionalização.....	14
4.1.2 Sazonalidade .....	17



4.1.3	Cálculo da vazão na foz .....	22
4.1.4	Variação interanual .....	23
<b>4.2</b>	<b>PLATAFORMA CONTINENTAL NORDESTE .....</b>	<b>26</b>
4.2.1	Seleção de dados e regionalização .....	26
4.2.2	Sazonalidade .....	27
4.2.3	Cálculo da vazão na foz .....	30
4.2.4	Variação interanual .....	31
<b>4.3</b>	<b>PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE .....</b>	<b>33</b>
4.3.1	Seleção de dados e caracterização geral .....	33
4.3.2	Sazonalidade .....	35
4.3.3	Cálculo da vazão na foz .....	38
4.3.4	Variação interanual .....	40
<b>4.4</b>	<b>PLATAFORMA CONTINENTAL SUL .....</b>	<b>42</b>
4.4.1	Seleção de dados e caracterização geral .....	42
4.4.2	Sazonalidade .....	44
4.4.3	Cálculo da vazão na foz .....	45
4.4.4	Variação interanual .....	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>
7.1	<b>ANEXO 1 – Curvas regionais .....</b>	<b>59</b>

<b>7.2</b>	<b>ANEXO 2 – Incrementos de vazão .....</b>	<b>62</b>
<b>7.3</b>	<b>ANEXO 3 – Vazão na foz (m<sup>3</sup>/s) .....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Discriminação de dados utilizados para o aporte fluvial destinado à Plataforma Continental Norte. *: houve concatenação das estações 30060000 e 30055000. Dados em ordem crescente de área monitorada. ....	15
Tabela 2. Equações e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) mensais para as divisões Oeste e Leste da plataforma Norte. ....	23
Tabela 3. Dados dos rios selecionados para a avaliação do aporte fluvial na Plataforma Continental Nordeste. ....	27
Tabela 4. Porcentagem de incrementos de área estimada em relação à área total de drenagem. Pelo método de aproximação entre áreas, consiste no mesmo incremento da vazão na foz com relação à vazão monitorada na estação. ....	31
Tabela 5. Informação sobre os rios selecionados que deságuam na Plataforma Continental Sudeste, dispostos em ordem crescente de área de drenagem monitorada. ....	34
Tabela 6. Equações e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) mensais para os rios da Plataforma Continental Sudeste. ....	39
Tabela 7. Incrementos de vazão (%) na foz com relação à vazão monitorada, e incrementos de área estimada, i.e. a região entre a estação e a foz, com relação à área total da bacia, para a Plataforma Continental Sudeste. ....	39
Tabela 8. Informação sobre os rios selecionados que deságuam na Plataforma Continental Sul, dispostos em ordem crescente de área de drenagem monitorada. ....	43
Tabela 9. Valores das áreas dos rios da plataforma Sul ( $\text{km}^2$ ), e a porcentagem da área estimada. ....	46
Tabela 10. Valores de vazão monitorada ( $Q_m$ ) e estimada ( $Q_e$ ) em $\text{m}^3/\text{s}$ para os rios da plataforma Sul. ....	47
Tabela 11. Porcentagem do número de rios em cada intervalo de vazão na foz para cada setor da PCB. ....	51
Tabela 12. Síntese de incrementos de vazão e de área estimada nos 4 setores da PC. ....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa das regiões hidrográficas do Brasil. Fonte: ANA, 2005. ....	5
Figura 2. Mapa de classificação da Plataforma Continental brasileira, segundo Knoppers <i>et al.</i> (1999). Fonte: Knoppers <i>et al.</i> (1999). ....	6
Figura 3. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Norte. ....	7
Figura 4. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Nordeste. ....	8
Figura 5. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Sudeste. ....	9
Figura 6. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Sul. ....	10
Figura 7. Gráfico em escala logarítmica da vazão anual média ( $m^3/s$ ) para todos os rios da Plataforma Continental Norte, incluindo as barras que representam o desvio padrão ( $m^3/s$ ). A distribuição geográfica dos rios é apresentada na Figura 3. ....	16
Figura 8. Gráfico demonstrando a sazonalidade da vazão de alguns rios que compõem a Plataforma Continental Norte, divisão Oeste. A distribuição geográfica dos rios encontra-se na Figura 3. ....	18
Figura 9. Gráfico demonstrando a sazonalidade da vazão dos rios que compõem a Plataforma Continental Norte, divisão Leste. A distribuição geográfica dos rios é apresentada na Figura 3. ....	18
Figura 10. Gráfico em escala logarítmica demonstrando a variação sazonal da magnitude da vazão dos rios que compõem a Plataforma Continental Norte, divisão Oeste. ....	19
Figura 11. Climatologia das vazões médias e barras de desvio padrão ( $m^3/s$ ) para os rios Araguari, Parnaíba e Mearim. A distribuição geográfica dos rios é apresentada na Figura 3. ....	21
Figura 12. Climatologia das vazões médias e barras de desvio padrão ( $m^3/s$ ) para os rios Amazonas e Tocantins. ....	22

Figura 13. Gráfico em escala logarítmica mostrando a vazão média na foz para cada rio (azul), acompanhada do acréscimo referente à máxima climatológica (preto).....	24
Figura 14. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Norte. (C) corresponde a bacia Capim e (P) à bacia Parnaíba. ....	25
Figura 15. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para a Plataforma Continental Norte. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. (C) representa a bacia Capim e (P) a bacia Parnaíba. ....	25
Figura 16. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para algumas estações do rio Amazonas. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS.....	26
Figura 17. Vazão anual média e barras de desvio padrão (m <sup>3</sup> /s) para os rios da Plataforma Continental Nordeste.....	28
Figura 18. Climatologia da vazão média, em escala logarítmica, para os rios da Plataforma Continental Nordeste.....	29
Figura 19. Climatologia da vazão média com barras de desvio padrão (m <sup>3</sup> /s) para os rios Paraíba, Jaguaribe, Una e Itapicuru. ....	29
Figura 20. Vazão média (m <sup>3</sup> /s) na foz (em azul), e incremento da máxima vazão mensal encontrada na climatologia de cada rio (em preto) que deságua na Plataforma Continental Nordeste, em escala logarítmica. ....	32
Figura 21. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Nordeste.....	32
Figura 22. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para a Plataforma Continental Nordeste. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. Palmeiras e Jacuípe são estações de monitoramento do rio Una. ....	33
Figura 23. Vazão anual média com barras de desvio padrão (m <sup>3</sup> /s) para os rios da plataforma Sudeste. ....	35

Figura 24. Climatologia da vazão média (m <sup>3</sup> /s) para os rios que deságuam na Plataforma Continental Sudeste.....	36
Figura 25. Climatologia da vazão média com barras de desvio padrão (m <sup>3</sup> /s) para os principais rios da Plataforma Continental Sudeste.....	37
Figura 26. Vazão média (m <sup>3</sup> /s) na foz (em azul), e incremento da máxima vazão mensal encontrada na climatologia de cada rio (em preto) que deságua na Plataforma Continental Sudeste.....	40
Figura 27. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Sudeste.....	41
Figura 28. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para a Plataforma Continental Sudeste. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. RI representa a bacia Ribeira do Iguape; IA, a bacia Itajaí-Açu.....	42
Figura 29. Vazão anual média com barras de desvio padrão (m <sup>3</sup> /s) para os rios da Plataforma Continental Sul.....	43
Figura 30. Climatologia da vazão média (m <sup>3</sup> /s) para os rios que deságuam na Plataforma Continental Sul.....	44
Figura 31. Climatologia da vazão média com barras de desvio padrão (m <sup>3</sup> /s) para os principais rios da Plataforma Continental Sul. ....	45
Figura 32. Vazão média (m <sup>3</sup> /s) na foz (em azul), e incremento da máxima vazão mensal encontrada na climatologia de cada rio (em preto) que deságua na Plataforma Continental Sul.....	46
Figura 33. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Sul.....	48
Figura 34. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média, para a Plataforma Continental Sul. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. BJ representa a bacia Jacuí. ....	48

Figura 35. Demonstração da variação latitudinal da vazão na foz para rios que deságuam na Plataforma Continental Norte e comparação com valores obtidos por Dai *et al.* 2009.....50

Figura 36. Mapa retirado de Junior *et al.* 2013 – *adaptado*. Representa a descarga média que afeta cada setor da PCB. LC representa a estimativa da linha de costa em cada setor e circulos estão os principais rios com drenagem em território brasileiro.....52

# 1 INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico global é um dos principais componentes do sistema climático da Terra. Nesse contexto, o aporte de água doce para os oceanos pode ser dividido em três principais tipos: a água doce atmosférica, proveniente do balanço entre evaporação e precipitação ( $E - P$ ); aquele oriundo do derretimento das geleiras; e, por último, o aporte fluvial. De forma geral, observa-se que através da interface oceano-atmosfera há um fluxo líquido de água deixando o oceano, uma vez que a evaporação excede a precipitação. Por outro lado, nos continentes a evaporação mostra-se inferior à precipitação (Oki 1999).

Assim, em escala de tempo geológico, o balanço de água entre esses compartimentos é equilibrado pelo aporte de água proveniente dos continentes, trazendo água de volta para o oceano. Portanto, um importante componente do ciclo hidrológico terrestre é o escoamento fluvial, o qual representa a principal porção de água doce disponível para o uso terrestre. Como o crescimento populacional é acompanhado pelo aumento da demanda por água doce, observa-se uma crescente preocupação do gerenciamento desses recursos, tornando crucial o estudo de sua variação interanual, especialmente sob o âmbito das mudanças climáticas (Dai *et al.* 2009).

Os rios transportam água, sedimentos, químicos, nutrientes e grandes quantidades de material dissolvido e particulado dos continentes para os oceanos, exercendo dessa forma um importante papel nos ciclos biogeoquímicos terrestres (Dai *et al.* 2009). Observa-se que o escoamento fluvial para uma bacia de drenagem particular depende do equilíbrio entre evaporação e precipitação interno à bacia, bem como da capacidade do solo em estocar água. A taxa com que esse escoamento ocorre também é vinculada à topografia. Assim, por consistir em um ambiente que atua como receptor de diversos aportes, como de água doce, sedimento e nutrientes trazidos pelos rios, do ponto de vista dinâmico, a região oceânica que se conecta a foz dos rios pode ser considerada tanto como fonte de momentum, quanto de flutuabilidade (Kourafalou *et al.* 1996). A estrutura resultante da descarga fluvial (menos densa) na região oceânica (mais densa) é conhecida como pluma fluvial (Wang *et al.* 2011).

Uma coluna d'água é dita estável quando há estratificação, o que implica que a estabilidade é uma medida da tendência de uma coluna d'água em sofrer mistura vertical. O nível de estratificação da coluna d'água portanto controla a intensidade da mistura vertical e, portanto, dos fluxos verticais de calor, sal, momentum e nutrientes (Simpson *et al.* 1990). O aporte de calor e água doce nas camadas superficiais tende a adicionar flutuabilidade e melhorar a estabilidade da coluna d'água, enquanto a turbulência causada pelo



cisalhamento das correntes de maré e o estresse do vento, juntamente com a quebra de ondas internas, agem no sentido oposto e liberam energia cinética a ser usada no sentido de eliminar os gradientes. Dessa forma, o transporte de água doce para o oceano é um tópico de importante discussão na modelagem oceânica (Simpson *et al.* 1990). A comparação entre observações e o escoamento fluvial gerado a partir de modelos fornece um bom diagnóstico para a validação do papel do ciclo hidrológico em modelos climáticos, fornecendo subsídio para o maior avanço do conhecimento no que diz respeito às interpretações das variações do clima na Terra, e também para a modelagem oceânica em escala regional (Miller *et al.* 1994).

A maior parte dos estudos que buscam interpretar a influência do aporte de água doce nos mares costeiros foca nos ambientes estuarinos (e.g. Wang *et al.* 2011; Warner *et al.* 2005). Por outro lado, o escoamento continental ou urbano tem sido raramente considerado na modelagem oceânica costeira, embora uma incorporação adequada dos fluxos provenientes do continente tenha papel crucial na avaliação da circulação de águas costeiras (Liste *et al.* 2012). Carton *et al.* (1991) sugerem que esse aporte é responsável por flutuações significativas na distribuição de temperatura e correntes oceânicas.

A fim de testar a hipótese de que o aporte fluvial modifica a densidade da água do mar próximo às desembocaduras dos rios, modificando a circulação costeira, Huang & Mehta (2010) analisou as respostas da circulação ao bloqueio do aporte fluvial dos principais rios no modelo de circulação geral do oceano global (OGCM), desenvolvido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). Dentre as consequências ressaltadas pelo modelo, o bloqueio do aporte fluvial provocou alterações no transporte de calor, anomalias de temperatura e salinidade, além de mudanças nos padrões de correntes.

A relevância do aporte fluvial nos oceanos incentivou o estudo da sua variabilidade sazonal e latitudinal no planeta. Baumgartner & Reichel (1975) foram os primeiros a fazer estimativas de aporte fluvial, calculando a descarga anual a partir de dados de vazão de 1960, porém não abordando a sazonalidade na vazão dos rios. Perry *et al.* (1996) inovaram ao calcular os valores de descarga mensais das estações mais a jusante dos rios monitorados, alcançando ao total 981 estações fluviométricas ao longo do planeta, porém não estimando a vazão na foz. Oki *et al.* (1999), em contrapartida, contabilizou o transporte total de água doce dos continentes para os oceanos baseado no balanço atmosférico entre precipitação e evaporação, não contabilizando a infiltração da água no solo e as diferentes características físicas das bacias hidrográficas.

Fekete *et al.* (2000), por sua vez, calcularam a descarga direta nos oceanos baseada em dados observados de vazão juntamente com o balanço atmosférico, utilizando uma grade com resolução espacial de 0,5°. Este trabalho inova em utilizar uma composição de duas fontes de dados, porém limita os rios inclusos ao retirar estações com área de drenagem monitorada menor que 10.000 km<sup>2</sup>. Dai & Trenberth (2002) também se destacam por terem combinado várias bases de dados para obter uma descrição do aporte fluvial em todo o mundo com resolução espacial de 1°, além de descrever a variação sazonal da descarga para os rios de maior vazão. Os autores não limitam as séries de dados das estações a um período comum, ao contrário, utilizam-se de todo o período disponível, o que confere maior confiabilidade às médias climatológicas. Como contra partida, esse critério diminui a importância do recente controle humano sobre as vazões à jusante, através da evolução do uso dos cursos d'água, e da instalação de barragens.

Dai *et al.* (2009) estenderam e atualizaram os dados de Dai & Trenberth (2002), apresentando a análise da série temporal da descarga fluvial entre 1948 e 2004. Nesse trabalho, os dados de vazão para os 200 maiores rios do planeta foram atualizados segundo diversas fontes (e.g. Global River Data Center, U.S. Geological Survey, Hidro Web), em complemento à utilização de dados do modelo CLM3 com o objetivo de preencher os dados ausentes das séries temporais através de regressão linear, bem como de estimar a vazão em áreas não monitoradas. O modelo CLM3 possibilita essa estimativa uma vez que utiliza dados de precipitação e correlaciona estes dados com os de vazão. Assim, o principal produto desse trabalho foi gerar uma base de dados contendo a vazão média dos 925 maiores rios de descarga exorreica ao longo do globo, além de transpor 187 desses valores para a foz.

Este trabalho também se destaca ao analisar o comportamento da descarga fluvial. Esta, além de ser submetida a variações sazonais vinculadas ao regime hidrológico das bacias hidrográficas, também apresenta variações interanual e decadal, podendo apresentar correlação com eventos de El Niño – Oscilação Sul (ENOS), por exemplo. Dai *et al.* (2009) concluem que há correlação entre esses processos nos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, sugerindo que anomalias de precipitação induzidas pelo ENOS em áreas de baixa a média latitudes são a principal causa das variações no aporte fluvial.

Outros autores fazem o estudo da variabilidade na descarga para regiões mais específicas. Grabs *et al.* (2000) analisam a sazonalidade dos dados observacionais de vazão à jusante na região do Ártico, enquanto alguns abordam a descarga de conjuntos de rios, geralmente no Pacífico Norte (Uehara *et al.* 2008, Morrison *et al.* 2012). Análises da sazonalidade do aporte no oceano Atlântico por sua vez têm sido pontuais, quase sempre

focando no rio Amazonas (Romanova *et al.* 2011), ou em rios isolados, o que enfatiza a lacuna no conhecimento que se tem do assunto.

Analisando-se a importância da descarga de rios na circulação oceânica, pode-se dizer que o Oceano Atlântico é o mais relevante por receber a maior descarga continental dentre todos os oceanos, cerca de  $21 \times 10^{15}$  kg/ano de água por ano (Oki 1999).

Dentro desse contexto, o Brasil se destaca por ser um país diverso e privilegiado em termos de disponibilidade hídrica, abrigando cerca de 12% das reservas mundiais de água doce, sendo que, se considerarmos as águas provenientes de outros países, esse índice se aproxima para 18% (MMA 2006b). Dos 50 maiores rios destacados por Dai *et al.* 2009, 6 deles são brasileiros: Amazonas, Tocantins, Tapajós, Xingu, São Francisco e Jacuí, sendo que 4 desses estão entre os 15 maiores do mundo.

## 1.1 Objetivos

O objetivo científico deste trabalho é caracterizar a variação latitudinal e sazonal do aporte fluvial para as condições de descargas médias nas diferentes regiões da Plataforma Continental Brasileira definidas por Knoppers *et al.* (1999), excetuando a Plataforma Leste. A principal utilidade científica a ser desenvolvida com este trabalho é a interpretação mais realística dos resultados de modelagem oceânica para a região costeira do Brasil, dada a importância do aporte fluvial na alteração das propriedades termohalinas das massas de água, as quais tem impacto direto na circulação. Assim, serão considerados os seguintes objetivos específicos:

- Formular um critério para a determinação de descargas fluviais significativas e identificar estes rios em cada região da área de estudo;
- Calcular a vazão na foz de cada rio, usando o método de razão entre áreas ou obter curvas regionais, quando possível;
- Determinar a climatologia das vazões médias na foz de cada um destes rios, descrevendo seus ciclos sazonais e sua variação interanual;
- Classificar os rios, segundo o critério de vazão média, identificando a sua potencial influência na circulação da Plataforma Continental;
- Relacionar os dados de vazão obtidos com processos de circulação oceânica, dados de clima e impactos antropogênicos, visando estabelecer conexões entre os mesmos.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

O governo brasileiro, a fim de melhor gerenciar os recursos hídricos do país, criou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a qual identifica 12 Regiões Hidrográficas, definidas pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos n.º 32/2003, que configuram a base físico-territorial para elaboração e implementação do Plano (Figura 1). Dessas 12 regiões, 9 deságuam na Plataforma Continental brasileira, enquanto as bacias Uruguai, Paraguai e Paraná deságuam no estuário do Rio da Prata, na Argentina.



Figura 1. Mapa das regiões hidrográficas do Brasil. Fonte: ANA, 2005.

A Plataforma Continental brasileira (PCB) é considerada passiva e possui variada largura e forma. Esta alcança sua máxima extensão na foz do rio Amazonas (330 km), depois diminui no sentido leste e alcança sua mínima extensão em Salvador (8 km), mantendo um padrão de largura da plataforma na ordem de 10 km até alcançar as proximidades de influência do rio da Prata, quando se torna mais larga e chega a alcançar valores de largura na ordem de 100 km (Martins & Coutinho 1981). Knoppers *et al.* (1999) criam uma classificação da PCB, dividindo-a em 5 setores: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste

e Sul (Figura 2). Este trabalho considera na sua classificação aspectos geológicos, geográficos, oceanográficos e também o clima das regiões, viabilizando uma melhor interpretação de padrões em estudos de interação continente-oceano.

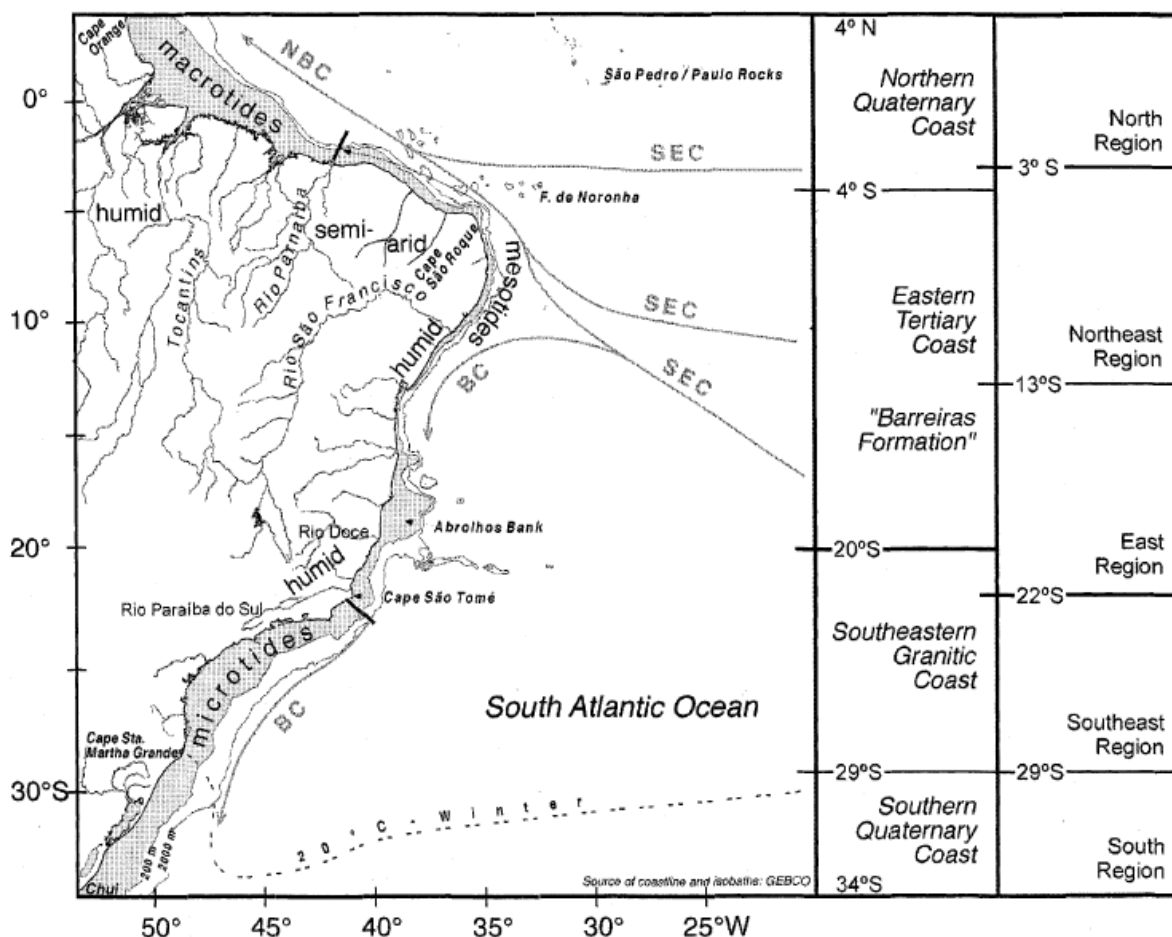


Figura 2. Mapa de classificação da Plataforma Continental brasileira, segundo Knoppers *et al.* (1999). Fonte: Knoppers *et al.* (1999).

## 2.1 Plataforma Continental Norte

Esta plataforma (Figura 3) se localiza aproximadamente entre 4° N e 3° S; 51.5° W e 39.5° W, englobando as regiões hidrográficas do Amazonas, Tocantins, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba e parte da região Atlântico Nordeste Oriental. Consiste na plataforma de maior importância, uma vez que recebe o aporte de alguns dos rios brasileiros destacados na classificação de Dai *et al.* (2009) dos 50 rios de maior vazão do planeta. Nessa região, foram identificados 18 rios principais que deságuam na costa, sendo formados pela junção de seus afluentes ao longo do curso até certa altura da foz em que se observa a formação de um braço único, totalizando uma área de cobertura de  $7,8 \times 10^6$  km<sup>2</sup>.

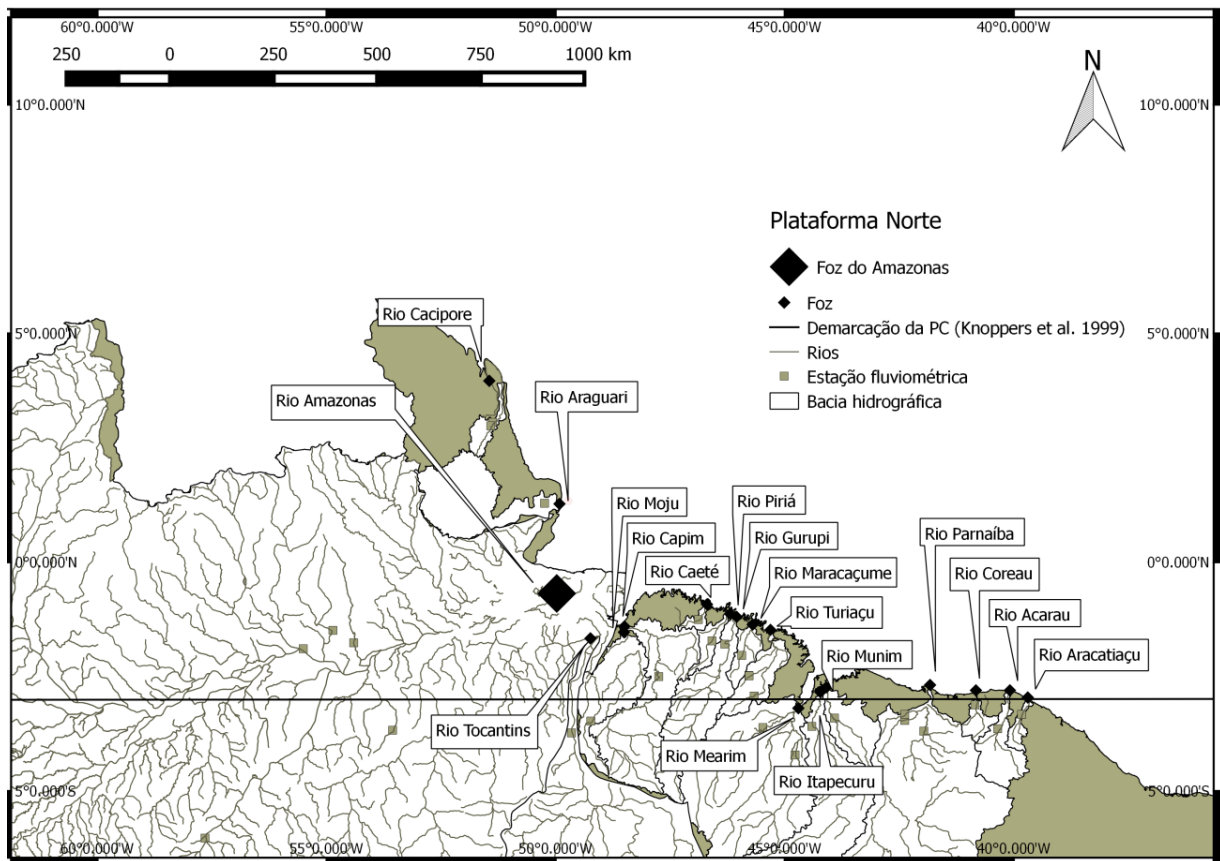


Figura 3. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Norte.

A Plataforma Continental tem grande largura nessa região, chegando até 330 km, devido ao aporte sedimentar do rio Amazonas e seus associados (Dominguez 2009). A região foi formada no período Quaternário e sofre influência de macro-marés de até 10 m de amplitude, também caracterizada pela deposição de lama (Muehe 2010).

As chuvas são abundantes e regulares na região hidrográfica Amazônica, do Tocantins e do Atlântico Nordeste Ocidental, com precipitação média de 2.239 mm, 1.837 mm, 1.790 mm, respectivamente. Na região da bacia do Amazonas e do Atlântico Nordeste Ocidental, a precipitação concentra-se nos meses de novembro a maio, sofrendo influência da Zona de Convergência Intertropical. Já o clima da bacia do Tocantins possui dois períodos climáticos bem definidos: o chuvoso, de outubro a abril, com mais de 90% da precipitação, e o seco, de maio a setembro, com baixa umidade relativa do ar (ANA 2005)..

A bacia do Parnaíba possui um comportamento mais destoante em relação às anteriores por possuir diferentes climas ao longo da bacia: clima semi-árido com pluviosidade inferior a 700 mm; clima semi-árido a sub-úmido com pluviosidade entre 1.000 a 1.300 mm; clima sub-úmido a úmido com pluviosidade entre 1.300 a 1.500 mm; e clima

úmido com pluviometria superior a 1.500 mm. Em média, setembro é o mês mais seco, enquanto março é o mais úmido.

## 2.2 Plataforma Continental Nordeste

Localizada entre 3° S e 13° S, essa plataforma (Figura 4) comporta o aporte fluvial proveniente de parte da bacia hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, da bacia do São Francisco e de parte da bacia do Atlântico Leste, totalizando uma área de drenagem de  $9,6 \times 10^5$  km<sup>2</sup>. Consiste numa Plataforma Continental passiva governada por Correntes de Contorno Oeste e coberta principalmente por sedimentos carbonáticos biogênicos. A plataforma é estreita, tendo contato com a Corrente Sul Equatorial e recebe baixo aporte fluvial quando comparada à plataforma Norte adjacente (Knoppers *et al.* 1999).

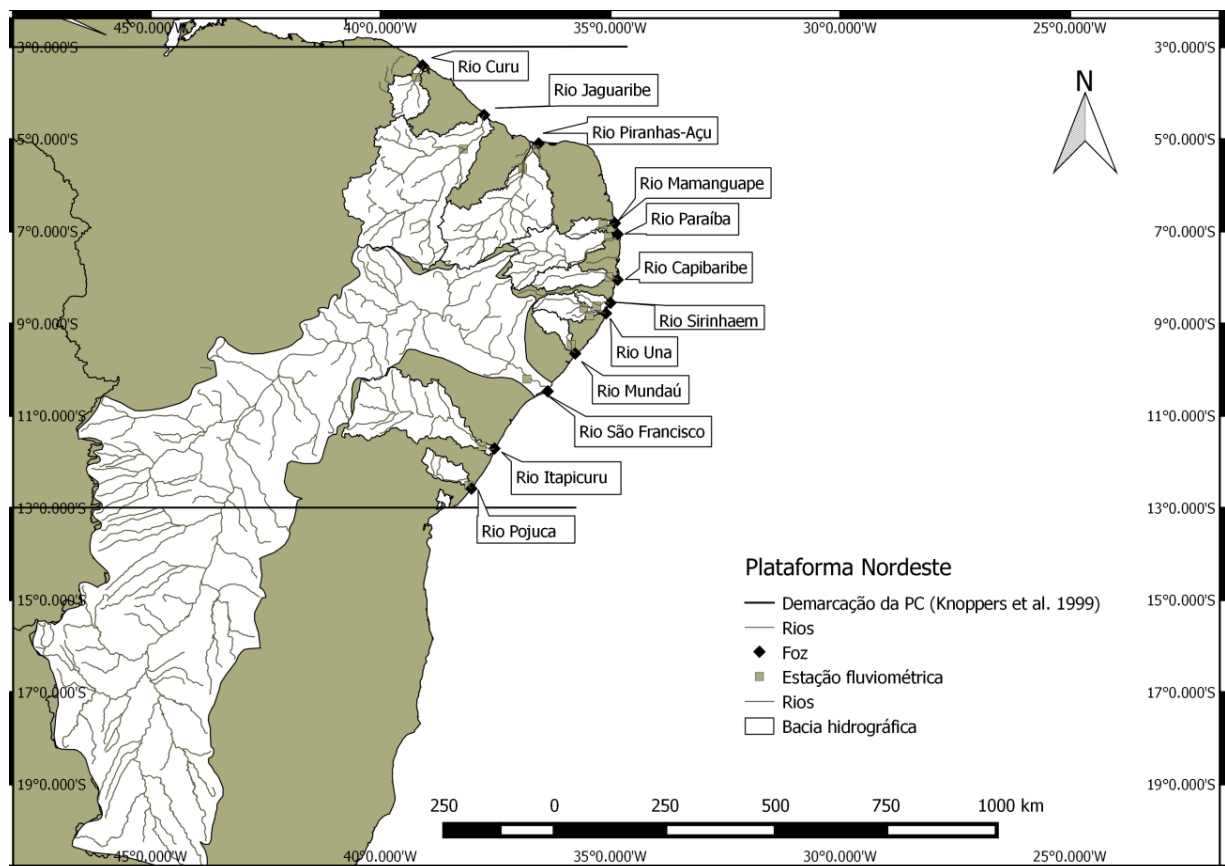


Figura 4. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Nordeste.

Por estar localizada na área de ocorrência dos ventos alísios, essa região é caracterizada por correntes energéticas e ação de ondas e marés, possuindo pouca estratificação da coluna d'água devido aos processos de mistura presentes durante todo o ano (Vital *et al.* 2010). No que se refere ao regime de chuvas, estas se concentram entre os meses de março a julho, com precipitação média de 1.349 mm. No Nordeste Setentrional, a

precipitação é mais intensa no período de março a maio, mas na costa central, as chuvas podem prolongar-se até agosto.

### 2.3 Plataforma Continental Sudeste

Esta plataforma (Figura 5) está localizada entre 22° S e 29° S, e recebe o aporte fluvial derivado da bacia do Atlântico Sudeste, e de parte da bacia do Atlântico Sul. Sua formação é granítica, e a presença da Serra do Mar implica que a maioria das drenagens flui para o interior do continente e não para o oceano, fazendo com que o aporte fluvial neste litoral não seja significativo. A distância entre a Serra do Mar e a linha de costa aumenta na parte central da região, permitindo o estabelecimento de uma planície costeira e a formação de uma maior bacia de drenagem: o Rio Ribeira do Iguape. O outro rio significativo encontrado nesta área é o Itajaí-Açu (Tessler & Goya 2005).

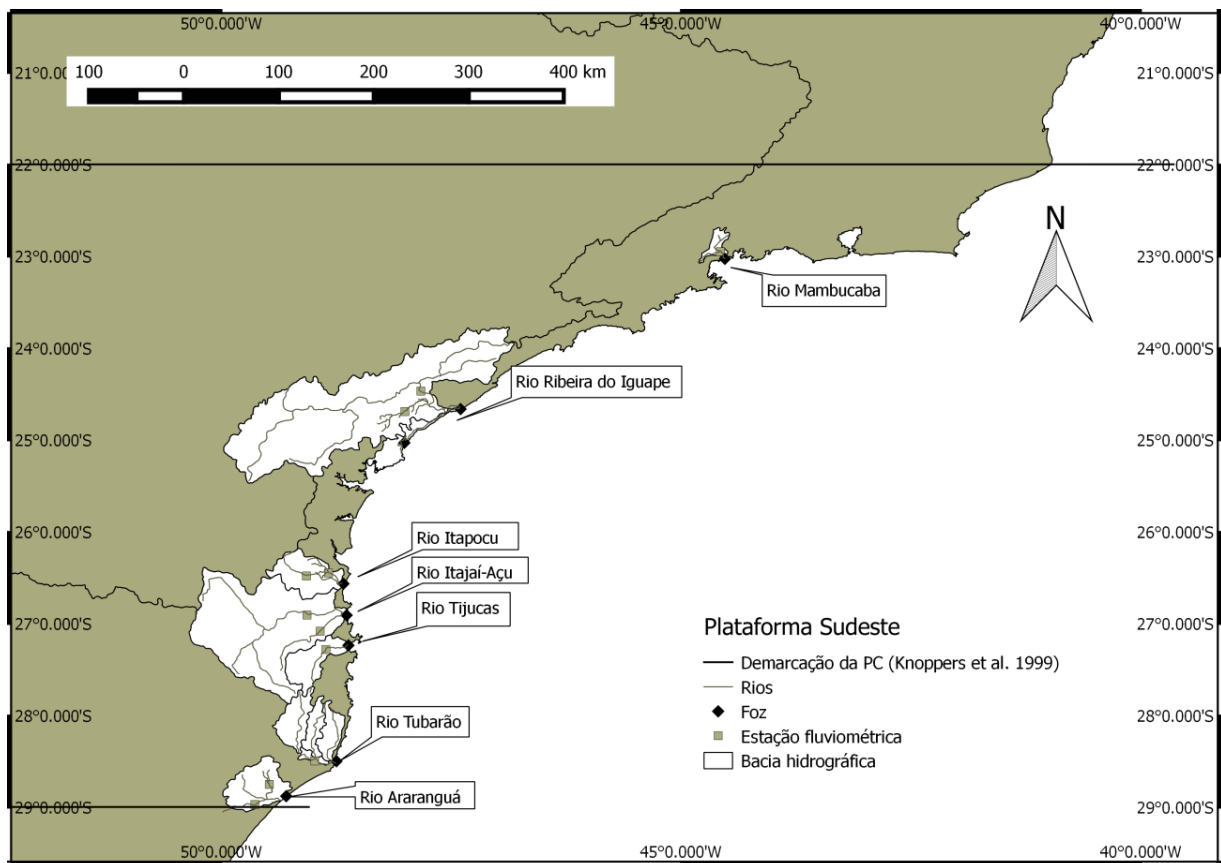


Figura 5. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Sudeste.

As condições hidrodinâmicas na parte interna da plataforma são fortemente dominadas por ventos e correntes geradas por ondas, mas a parte externa sofre maior influência do fluxo da Corrente do Brasil (Conti & Furtado 2009). Quanto ao regime pluviométrico, ocorre uma diminuição das chuvas durante o inverno, principalmente no



período de julho a agosto, e o aumento das chuvas durante o verão, entre os meses de dezembro a fevereiro (ANA 2005).

## 2.4 Plataforma Continental Sul

A plataforma Sul (Figura 6) está localizada entre 29° S e 34° S, correspondendo a menor das divisões propostas por Knoppers *et al.* (1999). A linha de costa é retilínea, associada a planícies costeiras extensas e arenosas e de baixa altitude. Outro destaque é a presença de sistemas lagunares bem desenvolvidos associados a campos de dunas. Não há drenagem significativa que deságue neste litoral, embora a plataforma seja fortemente influenciada pela pluma do estuário do Rio da Prata, cuja foz se localiza em território argentino (Möller *et al.* 2008). O maior aporte de água doce é a desembocadura da Lagoa dos Patos, na altura da cidade de Rio Grande (RS), a qual recebe drenagem dos rios mais significativos da região: Jacuí, Piratini e Camaquã. Com relação ao regime de chuvas, estas são bem distribuídas durante o ano, com precipitação média de 1.568 mm (ANA 2005).

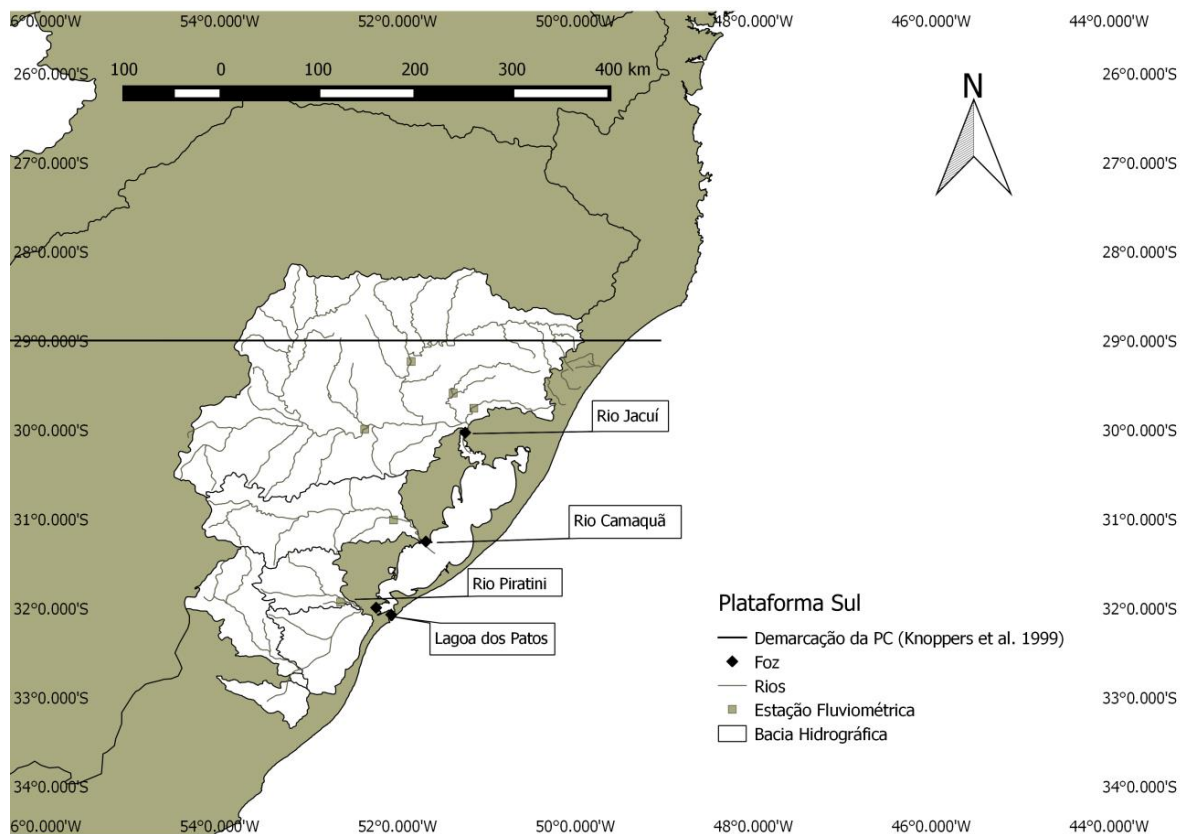


Figura 6. Mapa da área de estudo, setor: Plataforma Sul.

### 3 METODOLOGIA

A fim de identificar os rios com descarga exorreica na área de estudo, foram utilizados mapas das bacias hidrográficas, disponíveis na página oficial da Agência Nacional de Águas (ANA), no portal *HidroWeb*. Foram identificados todos os rios que desaguavam na costa segundo os mapas hidrológicos em escala 1:100.000 e 1:250.000. Em seguida, foi escolhida a estação fluviométrica localizada a menor distância da foz, priorizando aquelas com maior série de dados.

Considerando que o produto final da metodologia seria calcular o valor da vazão na foz de cada rio, tributários de um rio foram considerados como parte do rio principal. Dessa forma, a vazão média obtida na estação mais à jusante de um rio principal (e.g. “EP”) foi somada às vazões médias dos tributários que desaguassem mais à jusante com relação à “EP”. Nesse contexto, o rio principal e seus tributários passaram a ser tratados em conjunto e foram denominados “bacia”, seguido do nome do rio principal.

Após a escolha das estações fluviométricas, foram obtidas as séries históricas das estações de rios monitorados também no portal *HidroWeb*. As séries são disponibilizadas em formato de bancos de dados, com valores diários e mensais das vazões em m<sup>3</sup>/s. A fim de obter as médias climatológicas desses dados, as séries temporais das médias mensais de cada estação foram exportadas para o software MATLAB R2012B, o qual foi utilizado para as demais operações deste trabalho. Então, alguns critérios foram aplicados na seleção das estações de monitoramento:

- i) Séries de dados (n) devem ter um mínimo de 15 anos, a fim de se obter uma maior confiabilidade às médias climatológicas. Segundo Kennard *et al.* (2010), a precisão e exatidão das séries de medidas hidrológicas aumenta substancialmente com o aumento da duração do intervalo de tempo, mas tendem a estabilizar para  $n > 15$  anos;
- ii) O período máximo de uma série de dados será de 30 anos de dados existentes, i.e. excetuando-se meses e/ou anos ausentes de valores, a fim de limitar as séries a períodos mais recentes de dados. Esse critério foi escolhido por conta do fato de que instalações, como barragens e hidrelétricas, modificam o regime natural de um rio, e uma vez que a maior parte dessas construções ocorreram no Brasil entre 1950 e 1980 (Genz 2006), esse critério aumenta a chance de se fazer a análise climatológica dos rios após o impacto das mesmas, facilitando a interpretação das variações naturais dos rios;

- iii) Serão consideradas apenas as estações que obtiverem ao menos um valor climatológico mensal igual ou superior a 30 m<sup>3</sup>/s, o que possibilita a inclusão dos rios que possuem padrão de intermitência por longo período do ano e que quando analisados em termos de médias anuais possivelmente apresentariam um fluxo médio baixo o suficiente para ser pouco relevante em termos oceanográficos quando observado em conjunto com rios adjacentes de vazão mais significativa.

Para avaliar a variação interanual dos rios, foram calculadas anomalias, utilizando os dados de vazão das estações de monitoramento selecionadas. Essas anomalias foram calculadas segundo Genz & Luz (2012):

$$\text{Anomalia} = \frac{Q_i - Q_m}{\sigma}, \text{ em que:}$$

- $Q_i$  é a vazão média no ano  $i$  (m<sup>3</sup>/s);
- $Q_m$  é a vazão média ao longo da série anual (m<sup>3</sup>/s);
- $\sigma$  é o desvio padrão (m<sup>3</sup>/s).

### 3.1 Cálculo da vazão na foz

Para a transposição do valor de vazão na estação de monitoramento mais à jusante até a foz de cada rio, dois métodos foram utilizados: o método da regionalização, o qual foi prioridade, e o método da razão entre áreas, utilizado nos casos em que o primeiro método não foi satisfatório.

#### 3.1.1 Método de regionalização

Esse método consiste numa adaptação da equação proposta por Dai & Trenberth 2002, cuja modificação se baseia nos conceitos de regionalização propostos por Tucci (2002) e foi desenvolvido por Aguiar (2014 – em preparação). O método se baseia no fato de que é possível transferir dados de um local para outro dentro de uma região hidrográfica de características similares, i.e., que possuam um comportamento hidrológico similar. Dessa forma, utilizando as médias climatológicas derivadas das estações fluviométricas, é possível transpor o valor para a foz de cada rio, obtendo uma estimativa da média mensal do aporte fluvial na Plataforma Continental. Esse cálculo será feito com base na seguinte equação:

$$Q(j) = Q_o(j) * [1 + r(j) * A_u(j) / A_m(j)] \text{ (m}^3\text{/s), onde:}$$

- $Q(j)$  é a vazão na foz no mês  $j$  (m<sup>3</sup>/s);
- $Q_o(j)$  é a vazão na estação de monitoramento no mês  $j$  (m<sup>3</sup>/s);

- $A_u(j)$  é a área não monitorada que será estimada ( $\text{km}^2$ );
- $A_m(j)$  é a área de drenagem monitorada ( $\text{km}^2$ );
- $r(j) = \frac{Q(j)^*_{A_t} - Q(j)^*_{A_e}}{Q(j)^*_{A_e}}$ , representa a contribuição de vazão pela área não

monitorada, em que:

- $Q(j)^*_{A_t}$  é a vazão obtida na curva regional ( $Q^*$ ), para um determinado mês  $j$ , e para a área total de drenagem de um rio ( $A_t$ );
- $Q(j)^*_{A_e}$  é a vazão obtida na curva regional ( $Q^*$ ), para um determinado mês  $j$ , e para a área monitorada de drenagem de um rio ( $A_e$ );

A fim de se testar a homogeneidade de uma região, deve-se calcular o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que quantifica o ajustamento do modelo estatístico generalizado aplicado - em que se deve priorizar a regressão linear - em relação aos valores observados. Foi estabelecido que uma curva regional seria eficiente quando  $R^2 > 0,70$ , pois dessa forma seria indicado que pelo menos 70% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo, definindo o quanto a curva regional explica a variabilidade da região hidrográfica.

### 3.1.2 Método de razão entre áreas

O método alternativo utilizado para o cálculo da vazão na foz, quando inviável o estabelecimento de uma curva regional, é o método da razão entre áreas (Miranda *et al.* 2002). Neste método, a aproximação do valor da vazão na estação de monitoramento para a foz do rio deve ser feita com base na relação:

$$Q_e = k * Q_m, \text{ sendo } k = A_t / A_m, \text{ em que:}$$

- $Q_e$  representa a vazão de um rio na sua foz ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $Q_m$  representa a vazão de um rio na estação de monitoramento ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $A_m$  é a área monitorada pela estação fluviométrica ( $\text{km}^2$ );
- $A_t$  é área total de drenagem da bacia ( $\text{km}^2$ ), i.e. consiste na soma da área monitorada ( $A_m$ ) com a área ocupada entre estação de monitoramento e foz, para uma dada bacia hidrográfica.

A utilização desse método pressupõe que os aspectos climáticos da bacia hidrográfica sejam uniformes, aplicando uma proporção linear no incremento da vazão na foz em relação à vazão na estação fluviométrica à montante. Uma das limitações do método

consiste no fato de que a vazão na foz será sempre maior que a vazão na estação, uma vez que a área total será sempre maior que a área da estação ( $k > 1$ ), o que pode ser inviável no caso de regiões áridas em que seja esperado que haja grande evaporação ao longo do curso do rio.

### 3.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A fim de discutir a associação das anomalias de vazão médias anuais com ocorrências publicadas dos fenômenos de El Niño e La Niña da Oscilação Sul (OS), foi utilizado o índice SOI (do inglês Southern Oscillation Index) (Vaz *et al.* 2006 e Barros & Marques 2012). A OS é relacionada com variações de pressão na região do Oceano Pacífico. Quando a pressão é alta sobre este, tende a ser baixa na região da Indonésia, o que implica numa precipitação maior que a normal nesta última região. Assim, utilizou-se o índice obtido na página virtual do Australian Bureau of Meteorology (<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>), calculado pelo método de Troup (Troup 1965), que é a padronização da anomalia do Nível Médio de Pressão no Mar (NMPM), tirado da diferença entre as pressões médias de Tahiti e Darwin. Ele é calculado como abaixo:

$$\text{SOI} = 10 * (P_{\text{dif}} - P_{\text{difmed}}) / \text{DP}(P_{\text{dif}}), \text{ em que:}$$

- $P_{\text{dif}}$  = (média mensal do NMPM no Tahiti) - (média mensal do NMPM em Darwin) ;
- $P_{\text{difmed}}$  = Média de longo período do  $P_{\text{dif}}$  para o dado mês;
- $\text{DP}(P_{\text{dif}})$  = Desvio Padrão de longo período para o  $P_{\text{dif}}$  para o dado mês.

Este índice nos dá uma simples medida da força e fase da OS. De acordo com Barros & Marques (2012), quando o  $\text{SOI} > 8$ , é provável a ocorrência de evento de La Niña (fase positiva da OS) e quando  $\text{SOI} < -8$ , é provável a associação à fase de El Niño (fase negativa da Oscilação Sul).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Plataforma Continental Norte

#### 4.1.1 Seleção de dados e regionalização

A Plataforma Continental Norte é a região de maior importância em estudos hidrológicos e de oceanografia costeira no Brasil, uma vez que recebe o maior aporte fluvial do país, derivado de 5 diferentes regiões hidrográficas. A Tabela 1 discrimina os rios

selecionados após a aplicação da metodologia, totalizando 26 estações fluviométricas e 18 bacias de rios principais em conjunto com seus afluentes.

Tabela 1. Discriminação de dados utilizados para o aporte fluvial destinado à Plataforma Continental Norte. \*: houve concatenação das estações 30060000 e 30055000. Dados em ordem crescente de área monitorada.

Bacia	Nome do rio	Estação	Lat	Lon	Área da estação (km <sup>2</sup> )	Ano final	Duração (anos)	Vazão na estação (m <sup>3</sup> /s)	Área da estação (%)
Caete	Caete	32350000	-1,25	-46,87	1315	2005	15	40,76	63,85
Piriá	Piriá	32450002	-1,74	-46,59	1683	2005	30	73,51	31,78
Aracatiaçu	Aracatiaçu	35370000	-3,36	-39,84	2800	2006	30	9,37	86,32
Maracaçume	Maracaçume	32740000	-2,05	-45,96	3300	2005	30	63,32	48,36
Moju	Moju	31020000	-3,51	-49,21	3622	2005	24	142,06	12,28
Coreau	Coreau	35170000	-3,12	-40,82	3720	2005	30	28,72	80,71
Cacipore	Caciporé	30060000*	3,05	-51,37	4018	2005	15	191,36	70,56
Turiaçu	Parua	32850000	-2,50	-45,79	1057	2006	25	17,61	
Turiaçu	Turiaçu	32830000	-2,94	-45,67	4000	2005	30	81,21	
Turiaçu					5057			98,82	37,84
Acarau	Acarau	35275000	-3,69	-40,34	11300	2006	21	45,88	78,34
Munim	Munim	33780000	-3,46	-43,90	12450	2005	30	95,62	78,96
Araguari	Araguari	30400000	1,25	-50,25	29820	2006	30	925,10	80,43
Gurupi	Gurupi	32620000	-1,80	-46,32	31850	2006	30	450,85	
Capim	Guama	31520000	-1,54	-47,07	5220	2006	30	133,46	
Capim	Capim	31700000	-2,51	-47,77	38178	2006	30	529,77	
Capim					43398			663,23	86,47
Itapecuru	Itapecuru	33680000	-3,63	-44,38	49500	2005	30	234,91	92,06
Mearim	Mearim	33290000	-4,22	-44,77	27650	2005	30	108,76	
Mearim	Pindaré	33190000	-3,66	-45,46	34030	2005	30	207,90	
Mearim					61680			316,66	62,95
Parnaíba	Parnaíba	34879500	-3,45	-42,37	2030	2005	24	717,79	
Parnaíba	Longá	34980000	-3,72	-41,97	322267	2005	30	123,81	
Parnaíba					324297			841,6	96,60
Tocantins	Tocantins	29700000	-2,25	-49,25	742300	2006	29	11504,06	94,35
Amazonas	Amazonas	17050001	-0,75	-51,75	4618750	2005	30	170709,02	
Amazonas	Maicuru	18200000	-1,78	-54,40	17072	2005	30	115,61	
Amazonas	Curuá	17090000	-1,50	-54,87	20803	2005	30	140,72	
Amazonas	Tapajós	17500000	-6,05	-57,64	363000	2007	20	9945,27	
Amazonas	Uruará	18250000	-3,68	-53,55	2978	2007	30	38,85	
Amazonas					5022603			180949,47	82,18

O fim de todas as séries de dados foi entre 2005 e 2007, sendo a duração da grande maioria igual a 30 anos de dados completos, com exceção dos rios Caeté e Cacipore, onde o período de cobertura foi de 15 anos de dados. Para este último rio, foi feita a

concatenação de duas estações fluviométricas: 30060000 e 30055000, pois as duas distavam apenas 12 km uma da outra e a primeira possuía série de dados de 1984 a 1994, enquanto a segunda englobava os anos de 1996 a 2005. A área total de drenagem ( $A_t$ ) calculada correspondente ao aporte fluvial que chega à essa plataforma é de 7.762.884 km<sup>2</sup> sendo 82,2% sob monitoramento da ANA ( $A_m$ ), 15,9% referentes à área localizada entre a estação de monitoramento mais à jusante e a foz de cada rio ( $A_{est}$ ), e 1,9% ausentes de monitoramento ( $A_{exc}$ ).

O setor Norte da PCB apresenta ampla faixa de magnitudes de vazão, como pode se observar pela figura 7. Observam-se drenagens médias variando desde 9,4 m<sup>3</sup>/s (Aracatiaçu) até 180.949,5 m<sup>3</sup>/s (Amazonas). Essa grande variação de drenagem é resultado da diversidade climática encontrada na região. Segundo a classificação climática de Köppen, os tipos encontrados são:

- i) *Am* - tropical de monção;
- ii) *Af* - tropical úmido ou equatorial;
- iii) *Aw* - tropical úmido com inverno seco;
- iv) *As* - tropical úmido com verão seco;
- v) *BSh* - clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude.

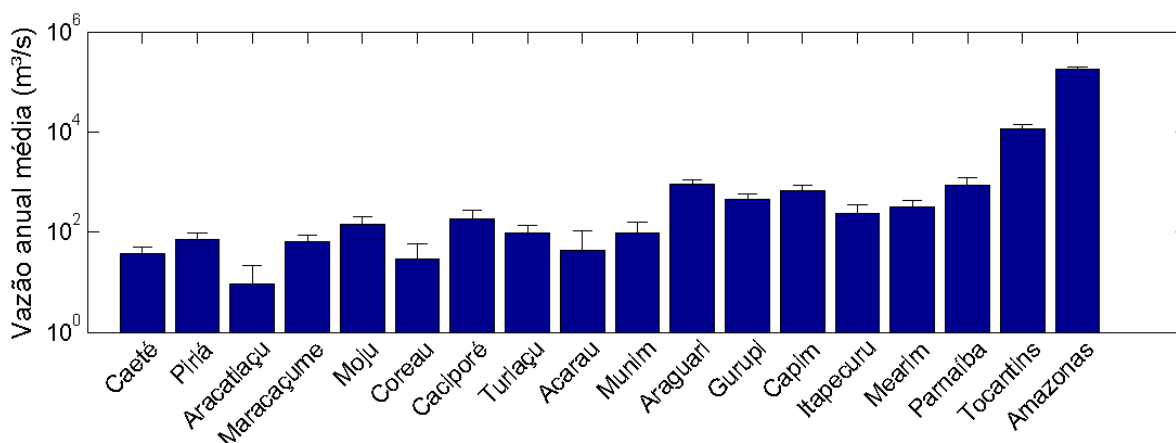


Figura 7. Gráfico em escala logarítmica da vazão anual média (m<sup>3</sup>/s) para todos os rios da Plataforma Continental Norte, incluindo as barras que representam o desvio padrão (m<sup>3</sup>/s). A distribuição geográfica dos rios é apresentada na Figura 3.

De uma forma geral, os rios Maracaçumé, Piriá, Gurupi, Caeté, Capim, Moju, Turiaçu, Araguari, Caciporé e Tocantins são predominantemente influenciados pelo tipo climático *Am*, enquanto a região noroeste do Amazonas é principalmente do tipo *Af*, e a Nordeste é do tipo *Am*. Por outro lado, os rios Itapecuru, Munim e Mearim, da bacia Atlântico

Ocidental, recebem influência climática do tipo *As* nas suas partes baixas mais à jusante; do tipo *Am* mais à montante; e do tipo *Aw* nas demais localizações da bacia. Os rios Acarau, Coreau e Aracatiaçu, que são bacias pouco extensas (área < 3000 km<sup>2</sup>), seguem um padrão parecido e são influenciados pelo tipo *As*. O rio Parnaíba possui um padrão um pouco discrepante, devido a sua extensão, e observa-se a influência dos tipos *As* no baixo Parnaíba, *Aw* na maior parte do médio Parnaíba e *BSh* na parte Sudeste do alto Parnaíba.

Tendo em vista o comportamento climático desses rios, optou-se por subdividir a Plataforma Continental Norte em setores Oeste e Leste, a saber:

- i) Divisão Oeste: composto pelas bacias Maracaçumé, Piriá, Gurupi, Caeté, Capim, Moju, Turiaçu, Araguari, Caciporé, Tocantins e Amazonas, localizados à esquerda do bacia Mearim (Figura 3);
- ii) Divisão Leste: composto pelas bacias Itapecuru, Munim, Mearim, Acarau, Coreau, Aracatiaçu e Parnaíba.

#### **4.1.2 Sazonalidade**

A sazonalidade desses dois setores pode ser observada pelas Figuras 8 e 9. Ambos apresentam o primeiro semestre do ano civil muito mais úmido que o segundo. Essa característica é mais notável na divisão Leste, em que todos os rios, exceto o Parnaíba, apresentam vazão média inferior a 100 m<sup>3</sup>/s de junho a dezembro. De forma geral, a divisão Oeste apresenta uma maior variação de magnitude das vazões, desde vazões na ordem de 10<sup>2</sup> m<sup>3</sup>/s ao Amazonas com cerca de 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s que pode ser observada na Figura 10.

Como característica comum, os rios da divisão Oeste apresentaram picos de vazão média em março (Tocantins), maio (Amazonas, Araguari, Caciporé e Capim) ou abril (os demais), que foi o mês de máxima vazão média para todos os rios da divisão Leste. Outra característica notável é que para a grande parte dos rios de ambas as plataformas, o período de maior queda de vazão (a região da curva de inclinação negativa mais acentuada) é encontrado entre abril e junho, mês a partir do qual se observa uma maior constância nos valores de vazão até janeiro, quando começa a estação de cheias; esse padrão só não é observado nos rios Araguari, Caciporé (Figura 8) e Parnaíba (Figura 9).



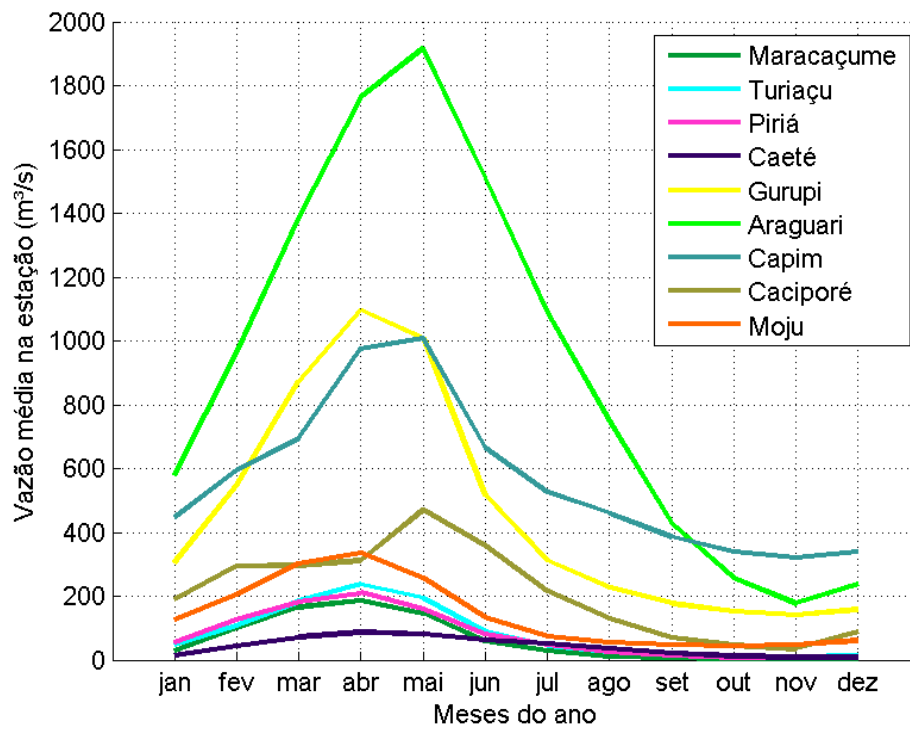


Figura 8. Gráfico demonstrando a sazonalidade da vazão de alguns rios que compõem a Plataforma Continental Norte, divisão Oeste. A distribuição geográfica dos rios encontra-se na Figura 3.

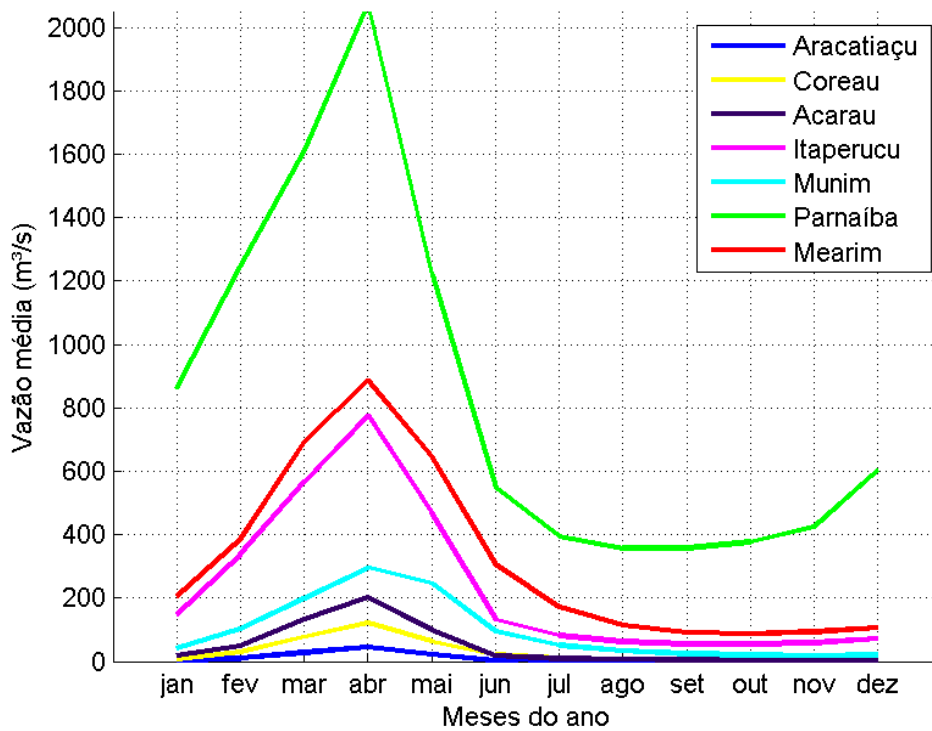


Figura 9. Gráfico demonstrando a sazonalidade da vazão dos rios que compõem a Plataforma Continental Norte, divisão Leste. A distribuição geográfica dos rios é apresentada na Figura 3.

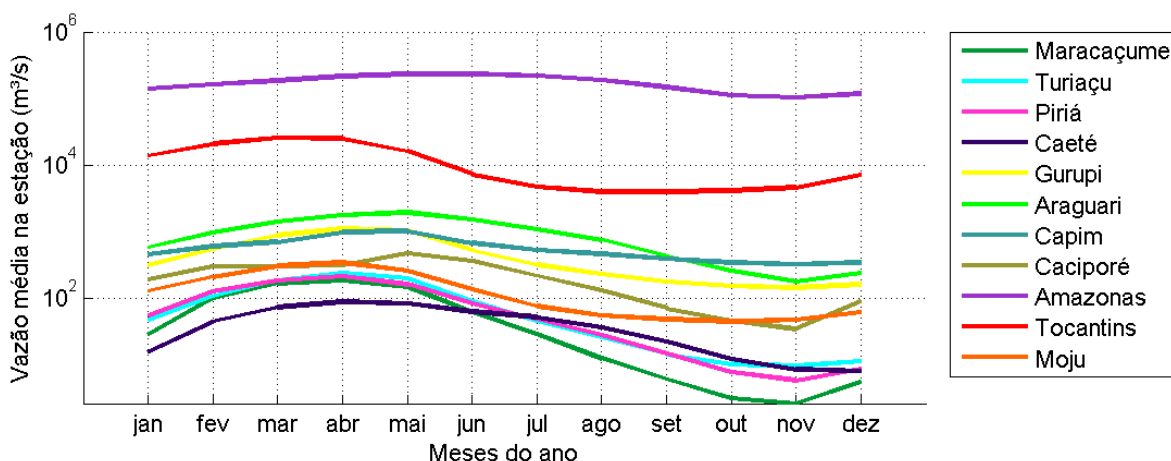


Figura 10. Gráfico em escala logarítmica demonstrando a variação sazonal da magnitude da vazão dos rios que compõem a Plataforma Continental Norte, divisão Oeste.

No caso do Araguari, além de possuir uma época de cheias maior, a relação vazão versus área de drenagem é superior aos mesmos rios da divisão Oeste. Sua média histórica é de 925 m<sup>3</sup>/s para uma área de drenagem menor que 30.000 km<sup>2</sup>, ao passo que outros rios dessa ordem de vazão (e.g. Parnaíba) possuem cerca de 10 vezes essa área de drenagem. Na divisão Leste observa-se um comportamento destoante quanto ao Parnaíba, primeiro por ser um rio muito maior que os outros da divisão Leste, segundo porque sua vazão começa a aumentar mais cedo (outubro/novembro), em oposição a janeiro/fevereiro do restante.

A Figura 11 mostra que o rio Araguari possui um fluxo hidrológico com grande variação sazonal ao longo do ano, com mínima em novembro, de 177 m<sup>3</sup>/s, e máxima em maio, de 1918 m<sup>3</sup>/s. Santos (2012), ao estudar a hidrodinâmica do estuário do rio Araguari, calculou a vazão média mensal desse rio, encontrando uma variação de 190 m<sup>3</sup>/s (novembro) a 1916 m<sup>3</sup>/s (maio). As vazões médias foram obtidas da estação fluviométrica de Porto Platon, a mesma utilizada nesse estudo. Apesar do período de medição utilizado por Santos (2012) ser superior (1952 - 1958 e 1972 - 2011), os valores encontrados são muito similares.

Quanto ao Parnaíba (Figura 11), o pico de vazão no mês de abril (1543 ± 955 m<sup>3</sup>/s) é correspondente à concentração de chuvas no primeiro quadrimestre do ano, que é também a estação de cheias e apresenta valores elevados de desvio padrão. Conforme a ANA (2005), o Vale do Parnaíba apresenta uma vazão média anual de 776 m<sup>3</sup>/s, correspondendo a 0,4% da vazão média do país, a menor em comparação com as outras Regiões Hidrográficas brasileiras. Segundo Paula Filho (2014), a vazão média histórica para a estação de Luzilândia foi de 714 m<sup>3</sup>/s, comparado a 718 m<sup>3</sup>/s calculado por esse trabalho. É

interessante ressaltar que a vazão do Parnaíba está vinculada a diversas intervenções humanas ao longo de seu curso. Por exemplo, verifica-se a ocorrência de significativas áreas de retenção, como a Lagoa da Salinas, Lagoa de Campo Largo e Lagoa da Estiva, com 13,3 milhões de m<sup>3</sup>, 13,0 milhões de m<sup>3</sup> e 17,6 milhões de m<sup>3</sup>, respectivamente. Um dos afluentes de médio curso do Parnaíba, o Longá, sofre influência de duas barragens: o açude Caldeirão, com 54,6 milhões de m<sup>3</sup>, e o açude Piracuruca (MMA 2006a).

O Mearim, também apresentado na Figura 11, possui um regime hidrológico simples, com duas estações bem definidas: a das águas máximas – cheias – de fevereiro a maio; e as mínimas – estiagens ou vazantes – que se prolongam de agosto a novembro. A máxima média calculada para a bacia, para o mês de abril, foi de 886 m<sup>3</sup>/s, enquanto a mínima foi de 87 m<sup>3</sup>/s (outubro). Em direção ao baixo curso, ocorrem pequenas mudanças nesses períodos, com certo retardo do período chuvoso. Vale ressaltar que esse padrão de precipitação durante todo o ano origina-se de sistemas precipitantes, oriundos de linhas de instabilidade (LI), que surgem devido à circulação de brisa marítima ao longo da costa atlântica da Guiana Francesa até o Norte do Maranhão.

A bacia do rio Amazonas alcança os picos de vazão máxima nos meses de maio e junho, e mínima no mês de outubro (Figura 12). A vazão média varia de 109.324 m<sup>3</sup>/s a 240.590 m<sup>3</sup>/s, com desvio padrão médio de 20.687 m<sup>3</sup>/s. Observa-se que a estação de cheias ocorre com atraso em relação à distribuição de precipitação. Isso pode ser resultado do regime de precipitação ocorrer de forma bimodal, implicando em uma climatologia de vazão geral da bacia menos intuitiva, ou devido à contribuição da drenagem subsuperficial (Zeng 1999). Segundo Silva *et al.* (2005), o aporte de água doce derivado do rio Amazonas corresponde a 18% do total de água doce continental lançado nos oceanos. A pluma superficial originada desse aporte pode chegar a alcançar mais de 200 km oceano adentro e cerca de 1000 km em direção noroeste.

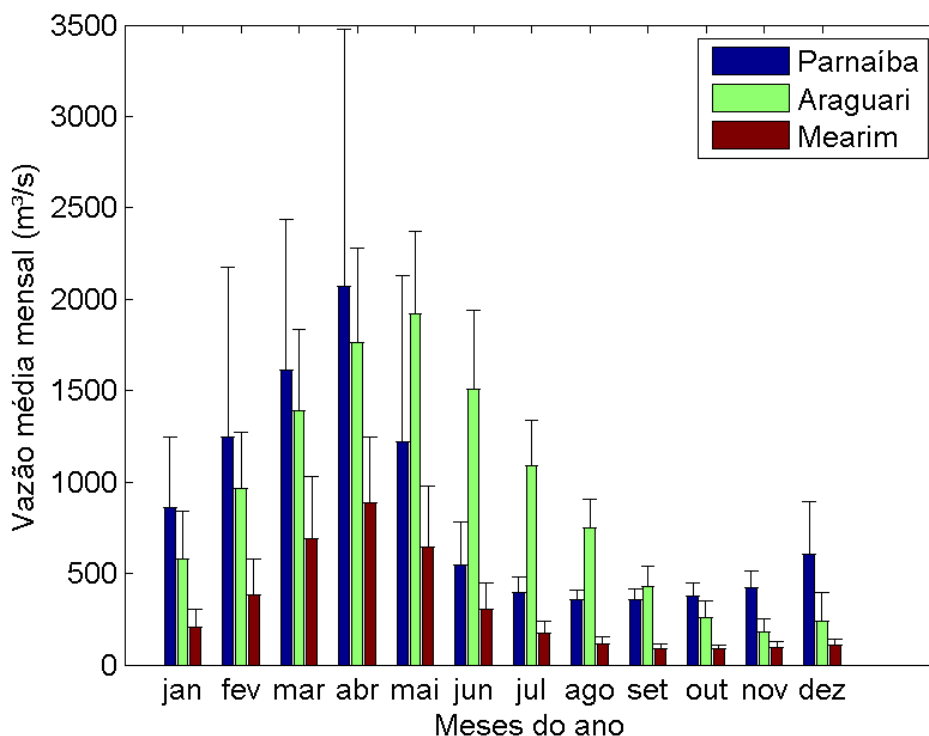


Figura 11. Climatologia das vazões médias e barras de desvio padrão (m³/s) para os rios Araguari, Parnaíba e Mearim. A distribuição geográfica dos rios é apresentada na Figura 3.

A sazonalidade do aporte fluvial do Amazonas também apresenta importantes consequências para a circulação oceânica em maiores escalas, inclusive por afetar a direção predominante da Corrente Norte Equatorial. Observa-se que nas proximidades da região da foz do Amazonas esta corrente sofre sazonalmente uma retroflexão para Leste, passando a alimentar a Contra-Corrente Norte Equatorial, e contribuindo para formação de vórtices anticiclônicos (Johns *et al.* 1990 *apud* Silva *et al.* 2005).

Finalmente, com relação ao Tocantins, observa-se que a época de maiores cheias acontece de janeiro a abril, com pico de máxima vazão em março, enquanto a estação de chuvas é de dezembro a fevereiro (Figura 12). O tamanho da área de drenagem (742.300 km²) consiste na característica que dá suporte ao atraso de 1 mês na máxima vazão em relação à máxima precipitação (Costa *et al.* 2003). A média histórica da vazão na estação Tucuruí é de 11.500 m³/s.

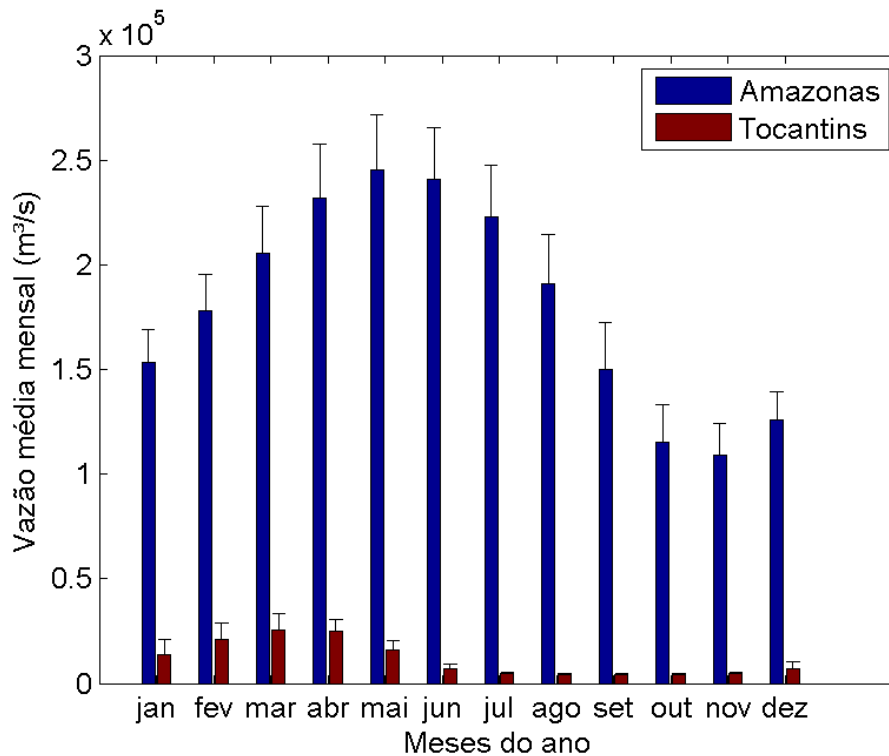


Figura 12. Climatologia das vazões médias e barras de desvio padrão (m³/s) para os rios Amazonas e Tocantins.

#### 4.1.3 Cálculo da vazão na foz

A partir da divisão da plataforma Norte em Oeste e Leste, foram construídas curvas regionais mensais para cada um dos setores, a fim de calcular a vazão na foz. Devido à heterogeneidade de comportamentos, ou por conta do tamanho total da bacia, alguns rios foram removidos da regionalização e foram tratados pelo método de razão entre áreas. No caso da divisão Oeste, esses rios foram o Araguari, Tocantins e Amazonas; e o Parnaíba, no caso da Leste. A regionalização foi feita com base em regressões lineares, cujas equações e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) estão dispostos na tabela 2.

Para a divisão Oeste, o menor coeficiente de determinação foi  $R^2 = 0,87$  (julho e dezembro); enquanto para a divisão Leste, foi  $R^2 = 0,85$ , mostrando que as curvas regionais explicam no mínimo 87 e 85% da variabilidade dos dados das divisões Oeste e Leste, respectivamente. Os incrementos de vazão na foz com relação à estação de monitoramento foram proporcionais ao incremento de área estimada, sendo que os maiores incrementos de vazão foram entre outubro e dezembro para todos os rios de ambas as divisões, exceto para a bacia do rio Mearim, cujos picos foram nos meses de abril a junho. O rio que obteve maior incremento de vazão (92 – 98%) foi o Moju, cuja área de monitoramento era de apenas 12% da área total. As curvas regionais e a tabela com os incrementos de vazão na foz

encontram-se no Anexo 2 deste trabalho, bem como o valor da vazão mensal na foz para todos os rios..

Tabela 2. Equações e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) mensais para as divisões Oeste e Leste da plataforma Norte.

Mês	Divisão Oeste		Divisão Leste	
	Equação	$R^2$	Equação	$R^2$
<b>Janeiro</b>	$y = 0,012x + 42,94$	0,89	$y = 0,003x - 9,853$	0,99
<b>Fevereiro</b>	$y = 0,015x + 102,16$	0,93	$y = 0,007x - 10,833$	0,98
<b>Março</b>	$y = 0,02x + 147,27$	0,95	$y = 0,011x + 1,542$	0,98
<b>Abril</b>	$y = 0,027x + 152,03$	0,98	$y = 0,015x + 24,798$	0,98
<b>Mai</b>	$y = 0,027x + 139,45$	0,95	$y = 0,010x + 10,276$	0,96
<b>Junho</b>	$y = 0,016x + 78,16$	0,89	$y = 0,004x - 3,206$	0,85
<b>Julho</b>	$y = 0,012x + 42,94$	0,87	$y = 0,002x + 1,548$	0,85
<b>Agosto</b>	$y = 0,01x + 10,79$	0,88	$y = 0,002x - 0,98$	0,91
<b>Setembro</b>	$y = 0,009x - 2,32$	0,89	$y = 0,002x - 2,046$	0,95
<b>Outubro</b>	$y = 0,008x - 7,11$	0,90	$y = 0,001x - 4,131$	0,97
<b>Novembro</b>	$y = 0,007x - 7,88$	0,90	$y = 0,002x - 5,239$	0,97
<b>Dezembro</b>	$y = 0,007x + 3,92$	0,87	$y = 0,002 - 6,001$	0,98

A figura 13 apresenta a vazão média na foz (em azul) e o incremento referente à máxima climatológica (em preto), em escala logarítmica, para todos os rios da plataforma Norte. A linha pontilhada separa os rios pertencentes às divisões Leste e Oeste, dispostos em ordem crescente de tamanho total da bacia de drenagem. É possível observar duas características marcantes ao comparar as divisões: 1) a variação entre máxima climatológica e média é maior na divisão Leste, indicando maior variação entre os dados de vazão para esta região; 2) os rios pertencentes à divisão Oeste possuem maior magnitude de vazão. Ambas as características corroboram a influência do clima mais úmido na determinação de vazões mais intensas na divisão Oeste.

#### 4.1.4 Variação interanual

Segundo Marengo *et al.* (1998), que avaliou dados de precipitação e vazão fluvial, não há uma tendência significativa a condições úmidas ou secas para a região do Norte do Brasil (englobando as regiões hidrográficas amazônica, do Tocantins e Parnaíba). No entanto, os autores concluíram que existem períodos considerados úmidos ou secos, demonstrando uma variabilidade interanual relacionada a eventos climáticos naturais como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), cuja fase El Niño está relacionada a anomalias negativas de precipitação no Norte do país e, portanto, caracterizam um período de seca na região.

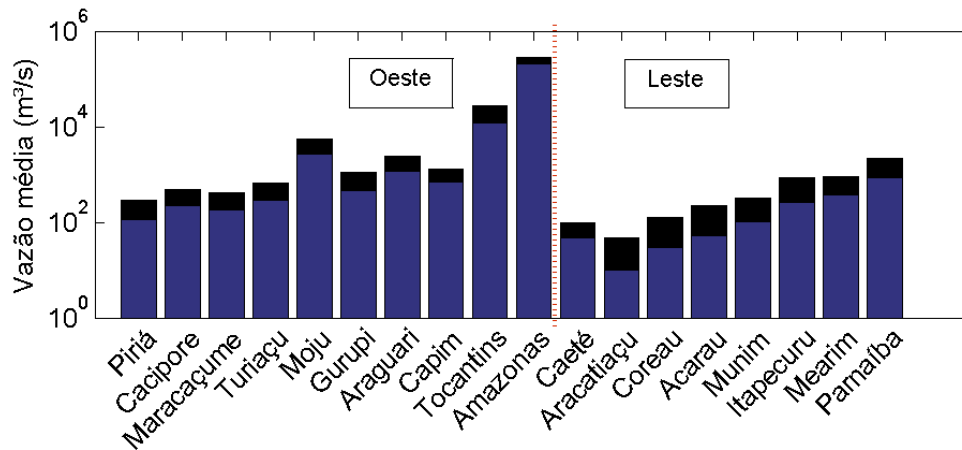


Figura 13. Gráfico em escala logarítmica mostrando a vazão média na foz para cada rio (azul), acompanhada do acréscimo referente à máxima climatológica (preto).

A Figura 14 mostra o histograma das anomalias de vazão média anuais para alguns dos rios que deságuam na Plataforma Continental Norte e representam diferentes padrões de sazonalidade. Observa-se que não há uma tendência clara a anomalias positivas ou negativas, uma vez que a frequência de valores negativos e positivos é similar, concordando com a conclusão de Marengo *et al.* 1998.

#### 4.1.4.1 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A Figura 15 sugere possíveis correlações de anomalias de vazão negativas (positivas) e fases de El Niño (La Niña) nos intervalos de 1982 – 1983, 1987, 1992 – 1993, 1997 – 1998 e 2001. Além disso, observa-se uma boa tendência de agrupamento entre as anomalias de diferentes rios num mesmo intervalo, sugerindo que a causa mais provável dessas anomalias tem ação em larga escala (e.g. evento climático).

Para o rio Amazonas, também são observadas possíveis correlações entre anomalias de vazão e ENOS (Figura 16). Outro destaque para esse gráfico é a existência de disparidades entre algumas estações, as quais apresentam comportamentos opostos em alguns períodos (e.g. 1996, 1985), indicando por exemplo um regime diferente para a estação Fortaleza (afluente Tapajós) em relação às demais estações.

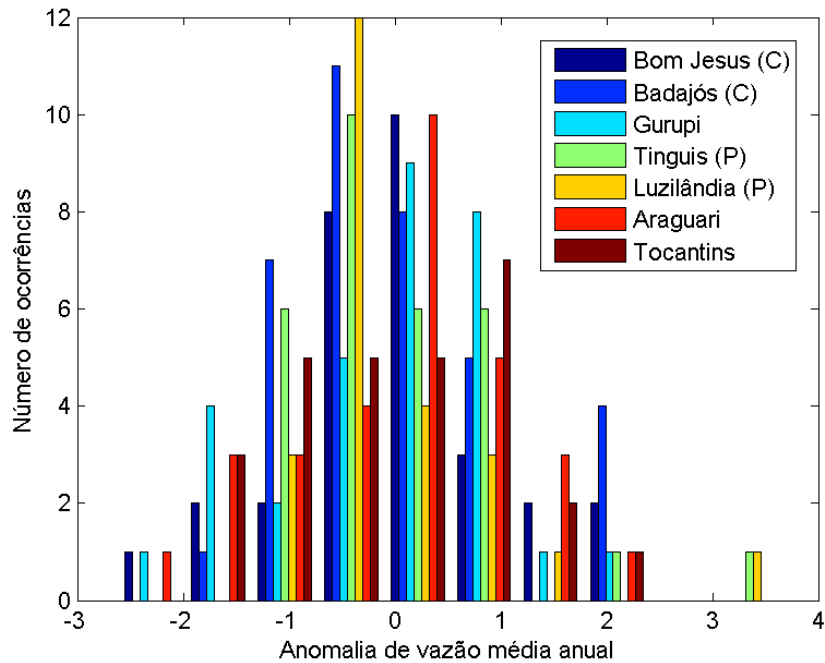


Figura 14. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Norte. (C) corresponde a bacia Capim e (P) à bacia Parnaíba.

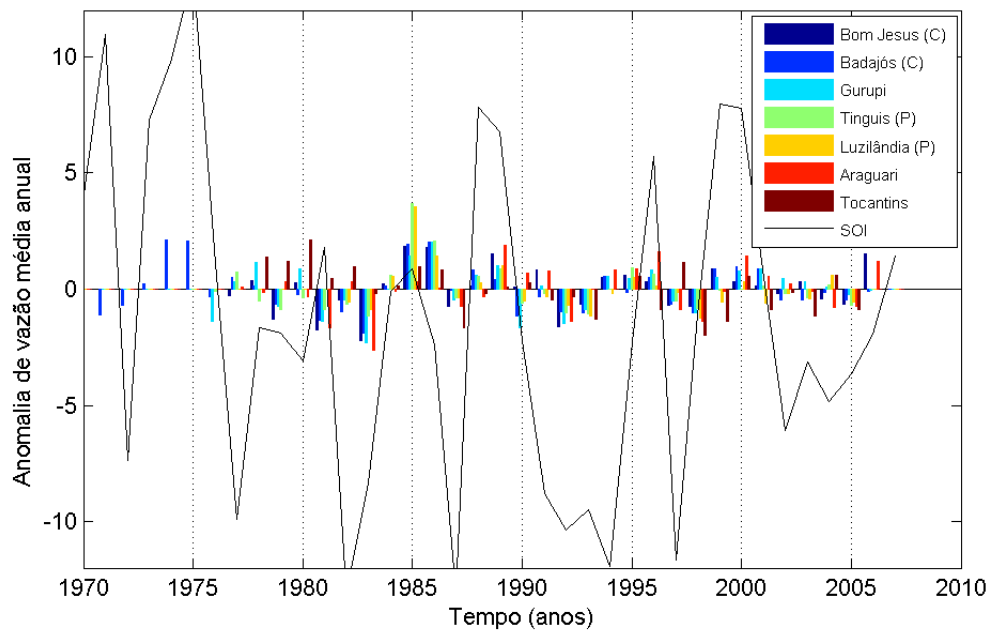


Figura 15. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para a Plataforma Continental Norte. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. (C) representa a bacia Capim e (P) a bacia Parnaíba.



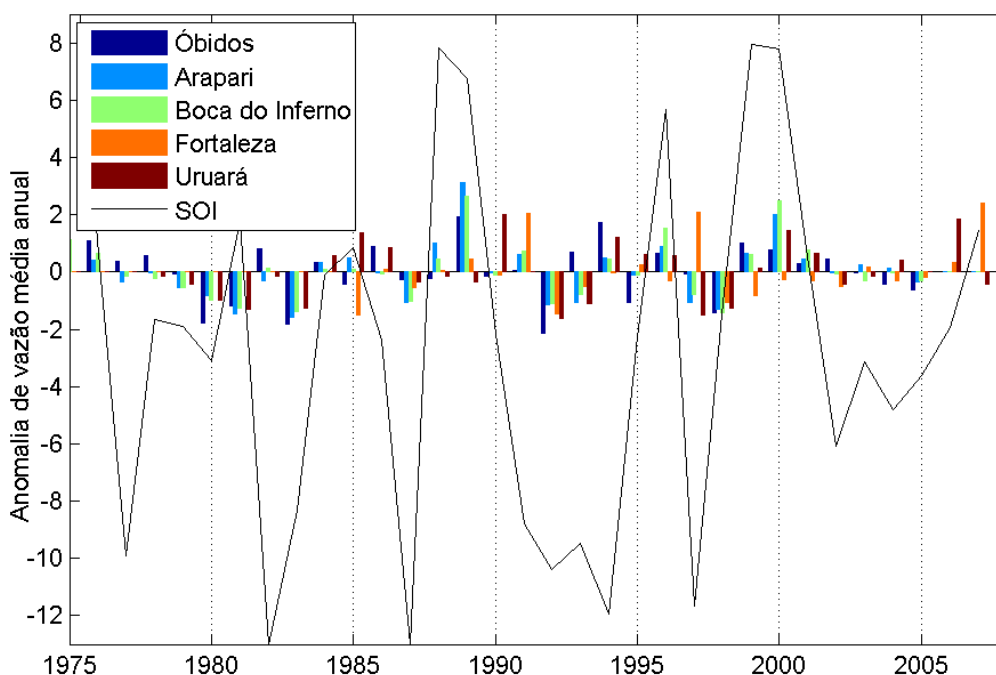


Figura 16. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para algumas estações do rio Amazonas. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS.

## 4.2 PLATAFORMA CONTINENTAL NORDESTE

### 4.2.1 Seleção de dados e regionalização

A Plataforma Continental Nordeste do Brasil é uma região que suporta grande variação sazonal no aporte fluvial, o qual é proveniente das regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco e de parte da bacia do Atlântico Leste. Há existência de muitos rios intermitentes ao longo do litoral dessa região, devido ao padrão de aridez vinculado a tipos climáticos diferentes (e.g. semi-árido, tropical de monção e tropical com verão seco). O aporte mais significativo é derivado do rio São Francisco, que deságua no estado de Sergipe.

A tabela 3 apresenta os dados referentes a essa plataforma, dispostos em ordem crescente de área de drenagem. Após a aplicação da metodologia foram selecionadas 14 estações de monitoramento para um total de 12 rios, sendo que apenas os rios Una e Jaguaribe foram compostos por mais de uma estação. As séries são todas muito recentes (ano final entre 2005 e 2009), exceto para o rio Paraíba (ano final em 1997), com duração da série temporal variando de 18 a 30 anos de dados. A área de drenagem total que afeta a plataforma Nordeste é de 961.178 km<sup>2</sup> ( $A_t$ ), sendo 87,8% sob monitoramento da ANA ( $A_m$ ),

4,0% referentes à área localizada entre a estação de monitoramento mais à jusante e a foz de cada rio ( $A_{est}$ ), e 8,2% sem monitoramento ( $A_{exc}$ ).

Tabela 3. Dados dos rios selecionados para a avaliação do aporte fluvial na Plataforma Continental Nordeste.

Bacia	Nome do rio	Estação	Lat	Lon	Área da estação (km <sup>2</sup> )	Ano final	duração (anos)	Vazão na estação (m <sup>3</sup> /s)	Área da estação (%)
Sirinhaem	Sirinhaem	39480000	-8,64	-35,31	1330	2006	18	30,07	66,13
Mamanguape	Mamanguape	38790000	-6,85	-35,16	2950	2006	30	11,75	92,28
Mundaú	Mundaú	39770000	-9,47	-35,86	3900	2006	30	33,77	85,84
Una	Una	39560000	-8,68	-35,58	4740	2006	30	32,30	
Una	Una	39580000	-8,84	-35,44	725	2006	18	13,67	
					5465				73,76
Pojuca	Pojuca	50795000	-12,51	-38,07	4860	2005	30	27,36	90,10
Capibaribe	Capibaribe	39187800	-8,00	-35,04	7040	2009	20	10,11	89,58
Curu	Curu	35570000	-3,67	-39,24	7100	2006	30	12,49	82,81
Paraíba	Paraíba	38895000	-7,13	-35,05	19244	1997	28	26,30	97,43
Itapicuru	Itapicuru	50595000	-11,73	-37,80	35150	2005	30	25,62	95,21
Piranhas-Açu	Piranhas-Açu	37710150	-5,62	-36,89	37600	2006	21	85,85	92,05
Jaguaribe	Jaguaribe	36390000	-5,23	-38,20	19394	2005	30	57,65	
Jaguaribe	Jaguaribe	36320000	-5,9	-38,6	39800	2005	30	57,46	
Jaguaribe					59194			115,11	79,85
São Francisco	São Francisco	49705000	-10,20	-37,25	623500	2007	30	2.656,48	96,70

A Figura 17 demonstra a vazão média e o desvio padrão anual dos rios com drenagem direcionada para a Plataforma Continental Nordeste. Exceto os rios Piranhas-Açu, Jaguaribe e São Francisco que possuem uma drenagem média igual ou superior a 100 m<sup>3</sup>/s, a descarga anual média é inferior a 50 m<sup>3</sup>/s. A variação dos dados, indicada pelo desvio padrão, é destacada no Jaguaribe, Paraíba e especialmente no rio Piranhas-Açu.

#### 4.2.2 Sazonalidade

Há uma forte característica de sazonalidade nos rios pertencentes a essa plataforma, embora não seja possível observar um padrão único que represente o regime de vazão dos mesmos. Isso é resultado da influência de muitos tipos climáticos com características discrepantes. Segundo Alvares *et al.* (2014), a classificação de Köppen para essa região tem predomínio do tipo *As* e *BSh*, i.e. tropical úmido com verão seco e clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude, respectivamente. Contudo, também se observa a ocorrência do tipo *Am* (tropical de monção) nas regiões costeiras entre os rios Paraíba e Sirinhaem; e do tipo *Aw* (tropical úmido com inverno seco) no Alto São Francisco.

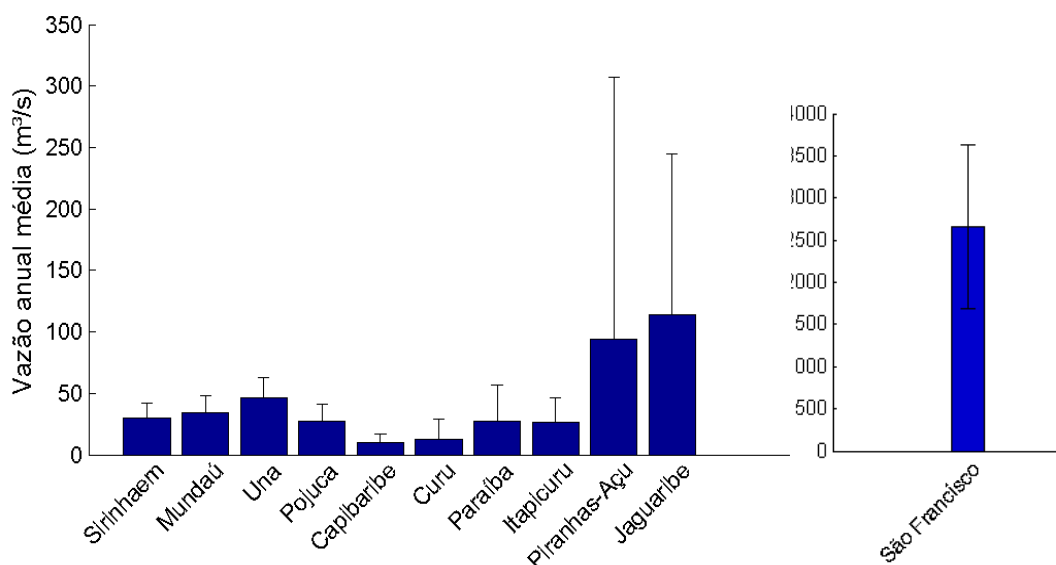


Figura 17. Vazão anual média e barras de desvio padrão (m³/s) para os rios da Plataforma Continental Nordeste.

É possível distinguir muitos comportamentos de sazonalidade para os rios dessa região (Figura 18):

- i) Pico de máxima vazão em abril – rios Piranhas-Açu, Jaguaribe e Curu;
- ii) Pico de máxima vazão em abril, seguido de novo aumento em julho – rios Paraíba, Mamanguape;
- iii) Pico de máxima vazão em maio – rio Pojuca;
- iv) Pico de máxima vazão em julho – rios Sirinhaem, Mundaú e Una;
- v) Pico de máxima vazão em fevereiro e março – rio São Francisco;
- vi) Comportamento aproximadamente constante ao longo ano – rio Itapicuru.

Analisando-se a Figura 18 em conjunto com o mapa da plataforma (Figura 4), percebe-se que rios próximos tendem a obter um padrão similar. Assim, os rios Paraíba, Jaguaribe, Una e Itapicuru, por representarem diferentes padrões sazonais, foram escolhidos para uma análise climatológica mais detalhada do aporte que chega à Plataforma Continental Nordeste (Figura 19).

O rio Paraíba apresenta um padrão de sazonalidade marcado por um pico de cheias em abril, seguido de diminuição até o mês de maio, apresentando um menor pico de vazão em julho. Essa característica representa a transição entre o regime de pluviosidade encontrado no estado do Ceará e Alagoas (ANA 2005). O regime desse rio foi estudado com detalhe por Xavier *et al.* (2012). Segundo esses autores, os valores altos de desvio padrão

de fevereiro a maio são devido à característica do rio em responder rapidamente às chuvas ocorridas na região, demonstrando o predomínio do escoamento superficial na bacia. Isto é, o tipo de solo encontrado na bacia desse rio contribui pouco para a entrada de água por infiltração. Assim, picos de precipitação são acompanhados por ampla variação do hidrograma nesse tipo de bacias (e.g. Piranhas-Açu). Portanto, de forma geral, rios de regiões semiáridas (*BSh*) apresentam distribuição de dados assimétrica e com desvios padrões superiores à média.

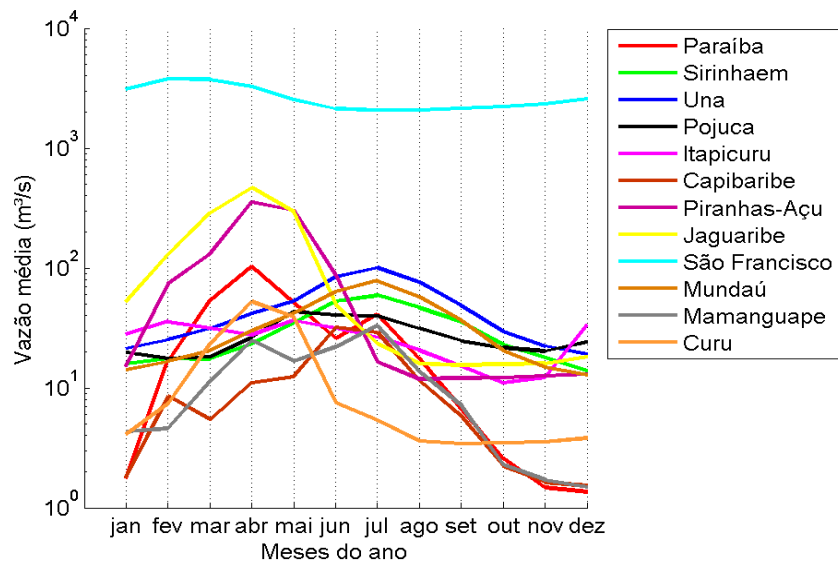


Figura 18. Climatologia da vazão média, em escala logarítmica, para os rios da Plataforma Continental Nordeste.

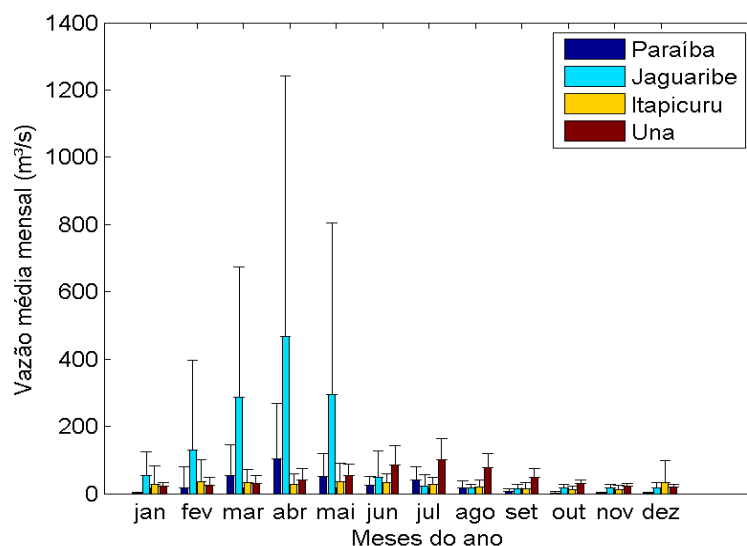


Figura 19. Climatologia da vazão média com barras de desvio padrão ( $m^3/s$ ) para os rios Paraíba, Jaguaribe, Una e Itapicuru.

Outro rio que sofre influência do tipo de clima *BSh* e que possui o comportamento mais discrepante dentre os padrões de sazonalidade observados nessa plataforma é o rio Itapicuru. Ele não apresenta uma estação de cheia definida, mas sim uma distribuição aproximadamente constante de valores baixos de vazão (cerca de 25 m<sup>3</sup>/s). É interessante notar que ele apresenta uma bacia cerca de dez vezes maior que 63% dos rios que deságuam na plataforma, embora a sua vazão média seja menor que 57% desses rios de bacias muito menores que a dele.

Já o rio Jaguaribe apresenta um padrão sazonal (pico em abril, estiagem no segundo período do ano civil) intermediário em relação aos da Plataforma Continental do Norte. Ele é o maior rio do semi-árido brasileiro, constituindo uma importante fonte de água para o estado do Ceará. Na década de 1990 entrou em operação o Açude do Castanhão com o objetivo de regularizar a vazão do rio Jaguaribe, aumentando a disponibilidade hídrica, diminuindo substancialmente a frequência de eventos extremos e portanto alterando o regime do rio (Frota *et al.* 2013). Portanto, espera-se que uma climatologia média englobando apenas os anos mais recentes de dados de vazão desse rio apresente uma amplitude muito menor de vazão.

Com relação ao rio Una, seu comportamento chama a atenção por apresentar maior vazão no inverno, diferente do que ocorre normalmente nos rios do Nordeste. Na escala sazonal o período mais seco na bacia ocorre nos meses de agosto a fevereiro (30 a 100 mm/mês); e o período mais chuvoso ocorre nos meses de março a julho (entre 120 e 210 mm/mês) (ANA 2005).

#### **4.2.3 Cálculo da vazão na foz**

Para esta etapa, o método escolhido foi o de razão entre áreas, uma vez que não foi possível obter um padrão sazonal que pudesse representar um conjunto razoável de rios a fim de criar uma curva regional. No entanto, os rios Curu e Mamanguape, por terem sazonalidade similar aos da Plataforma Continental Norte divisão Leste, foram utilizados na construção da curva regional dessa plataforma e portanto tiveram a vazão na foz calculada pelo método da regionalização. Os incrementos de vazão mensais para esses rios encontram-se na tabela da plataforma Norte divisão Leste, no Anexo 2 deste trabalho, bem como o valor da vazão mensal na foz para todos os rios. A tabela 4 sintetiza os incrementos de vazão/área.

Tabela 4. Porcentagem de incrementos de área estimada em relação à área total de drenagem. Pelo método de aproximação entre áreas, consiste no mesmo incremento da vazão na foz com relação à vazão monitorada na estação.

Bacia	Área da estação (km <sup>2</sup> )	Área total de drenagem (km <sup>2</sup> )	Incremento (%)
Sirinhaem	1330	2011,29	33,87
Mamanguape	2950	3196,64	7,72
Mundaú	3900	4543,22	14,16
Una	4740		
Una	725		
Una	5465	6426,59	14,96
Pojuca	4860	5394,25	9,90
Capibaribe	7040	7859,16	10,42
Curu	7100	8573,59	17,19
Paraíba	19244	19751,60	2,57
Itapicuru	35150	36918,08	4,79
Piranhas-Açu	37600	40848,04	7,95
Jaguaribe	19394		
Jaguaribe	39800		
Jaguaribe	59194	74128,10	20,15
São Francisco	623500	644805,64	3,30

A Figura 20 representa a variação da magnitude da vazão média na foz para todos os rios da Plataforma Continental Nordeste. É possível observar que o máximo valor médio que os rios alcançam, representado pelo acréscimo (em preto) das máximas climatológicas, raramente passam da escala de 10<sup>2</sup> m<sup>3</sup>/s, mostrando que o aporte fluvial na foz dessa plataforma é principalmente formado pelos rios Piranhas-Açu, Jaguaribe e São Francisco, cuja escala é da ordem de 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s.

#### 4.2.4 Variação interanual

Estudos de variabilidade interanual da descarga fluvial na plataforma Nordeste do Brasil são de suma importância e constituem um dos focos de pesquisa no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A principal motivação para esse estudo é a vinculação de oscilações climáticas (e.g. ENOS ou Oscilação Decadal do Pacífico) às anomalias de precipitação que ocorrem na região. Contudo, é difícil conseguir detalhar a natureza de variações nos aportes fluviais (diretamente influenciados por variações na

precipitação) de ações antrópicas, como a construção de barragens. Esse tópico foi discutido por Marengo *et al.* 1998.

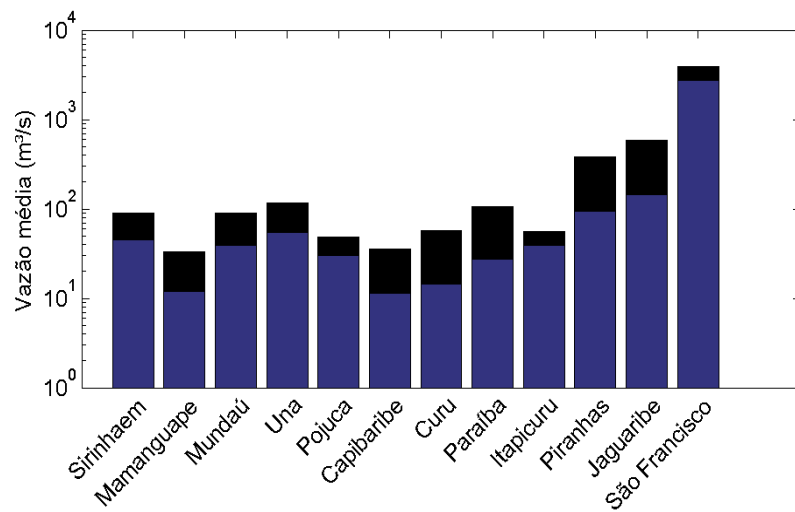


Figura 20. Vazão média (m³/s) na foz (em azul), e incremento da máxima vazão mensal encontrada na climatologia de cada rio (em preto) que deságua na Plataforma Continental Nordeste, em escala logarítmica.

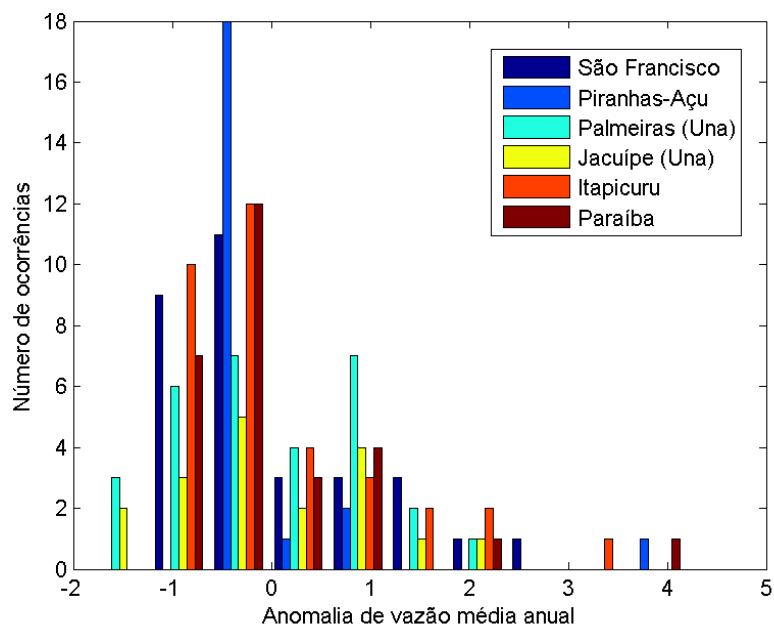


Figura 21. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Nordeste.

A fim de interpretar o comportamento da variação anual dos rios da Plataforma Continental Nordeste, selecionaram-se os rios Piranhas-Açu, Itapicuru, São Francisco, Una e Paraíba por representarem regimes distintos de sazonalidade. A Figura 21 mostra que anomalias negativas de vazão média tiveram maior ocorrência em todas as estações de

monitoramento, sugerindo que o aporte fluvial apresenta uma provável diminuição em relação à média. A Figura 22 demonstra a tendência de todas as estações a obterem valores negativos de anomalias a partir dos anos 90. Observa-se, no entanto, uma falta de correlação entre as fases de ENOS indicadas pelo índice SOI e essas anomalias, sugerindo que outros fatores também atuam na modulação do sistema. No caso do São Francisco, segundo Genz & Luz (2013), o impacto de barragens em usinas hidrelétricas tem sido responsável por 59% das alterações hidrológicas, enquanto a ocorrência de secas contribui em 41% das alterações totais.

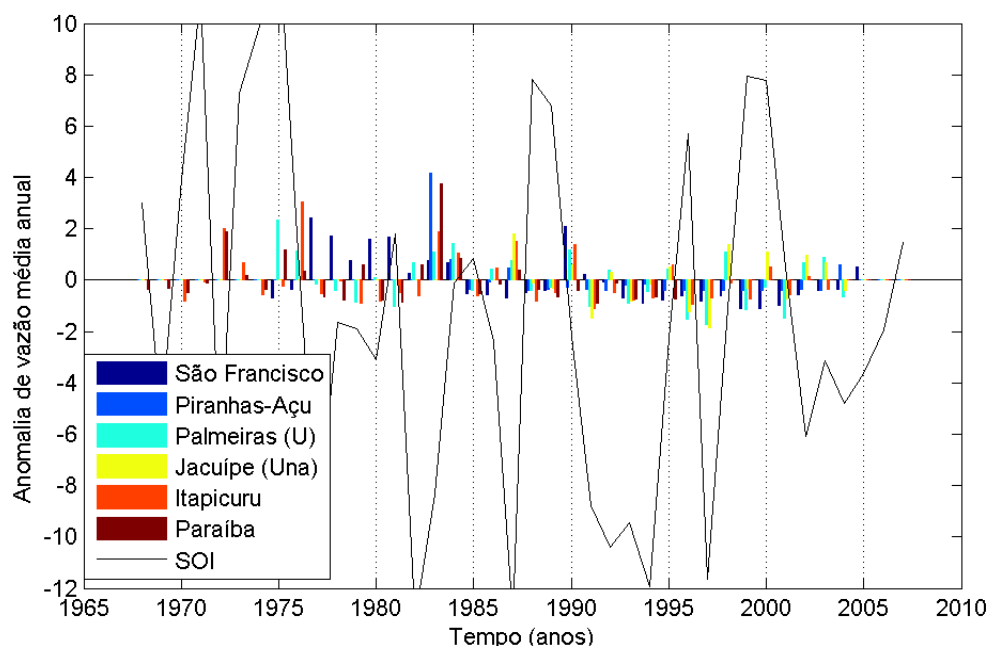


Figura 22. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para a Plataforma Continental Nordeste. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. Palmeiras e Jacuípe são estações de monitoramento do rio Una.

## 4.3 PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE

### 4.3.1 Seleção de dados e caracterização geral

A Plataforma Continental Sudeste é adjacente aos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Sul do Rio de Janeiro, e corresponde à segunda menor divisão da PCB proposta por Knoppers *et al.* (1999). Devido à presença da Serra do Mar, essa região do litoral do país é caracterizada por baixo aporte fluvial do tipo exorreico, uma vez que grande parte da drenagem flui para o interior do continente e não diretamente para o oceano. Os rios oriundos das bacias Atlântico Sul e Sudeste resultantes da aplicação dos critérios definidos na metodologia encontram-se na Tabela 5. Ao todo foram selecionadas 11



estações de monitoramento distribuídas por 7 rios principais, i.e. afluentes tratados em conjunto com seu respectivo rio principal.

Tabela 5. Informação sobre os rios selecionados que deságuam na Plataforma Continental Sudeste, dispostos em ordem crescente de área de drenagem monitorada.

Bacia	Nome do rio	Estação	Lat	Lon	Área da estação (km <sup>2</sup> )	duração Ano final (anos)	Vazão na estação (m <sup>3</sup> /s)	Área da estação (%)
Mambucaba	Mambucaba	59370000	-22,96	-44,56	597	2005	28 22,70	87.09
Itapocu	Piraí	82770000	-26,45	-48,83	392	2006	30 22,59	
Itapocu	Itapocu	82350000	-26,48	-49,08	794	2006	30 27,09	
					1186		49,68	37.07
Araranguá	Mãe Luzia	84820000	-28,75	-49,47	526	2006	27 20,96	
Araranguá	Itoupava	84949800	-28,97	-49,64	826	2007	21 33,39	
Araranguá					1352		54,35	55.21
Tijucas	Tijucas	84095500	-27,28	-48,85	1964	2006	26 53,44	78.03
Tubarão	Tubarão	84580500	-28,47	-48,99	2840	2004	14 154,33	57.94
Itajaí-Açu	Itajaí Mirim	83900000	-27,10	-48,92	1240	2006	30 25,59	
Itajaí-Açu	Itajaí-Açu	83800002	-26,92	-49,07	11803	2004	30 383,14	
Itajaí-Açu					13043		408,72	77.43
Ribeira do Iguape	Ribeira do Iguape	81683000	-24,59	-48,59	20855	2001	30 443,78	
Ribeira do Iguape	Jacupiranga	81710000	-24,69	-48,00	777	2007	30 22,08	
Ribeira do Iguape					21632		465,86	78.45

Com exceção dos rios Tubarão e Itoupava, cujas séries de dados têm extensão de 15 e 21 anos, respectivamente, as demais séries possuem entre 26 e 30 anos de dados completos. As séries são todas relativamente recentes, sendo a de finalização mais antiga a do Ribeira do Iguape, cujo último ano é 2001, enquanto as outras foram finalizadas entre 2004 e 2007. A área total de drenagem ( $A_t$ ) correspondente ao aporte fluvial que chega à essa plataforma é de 77.083 km<sup>2</sup> sendo 59,4% sob monitoramento da ANA ( $A_m$ ), 20,2% referentes à área localizada entre a estação de monitoramento mais à jusante e a foz de cada rio ( $A_{est}$ ), e 20,4% ausentes de monitoramento ( $A_{exc}$ ).

Em termos de área de drenagem total, considerando apenas a drenagem exorreica, essa é a região menos significativa dentre as áreas correspondentes às plataformas continentais segundo a classificação utilizada nesse trabalho. As vazões anuais médias mais significativas são dos rios Ribeira do Iguape (466 m<sup>3</sup>/s) e Itajaí-Açu (408 m<sup>3</sup>/s), seguidas do rio Tubarão (154 m<sup>3</sup>/s). Os demais rios possuem vazão anual média inferiores a 100 m<sup>3</sup>/s (Figura 23).

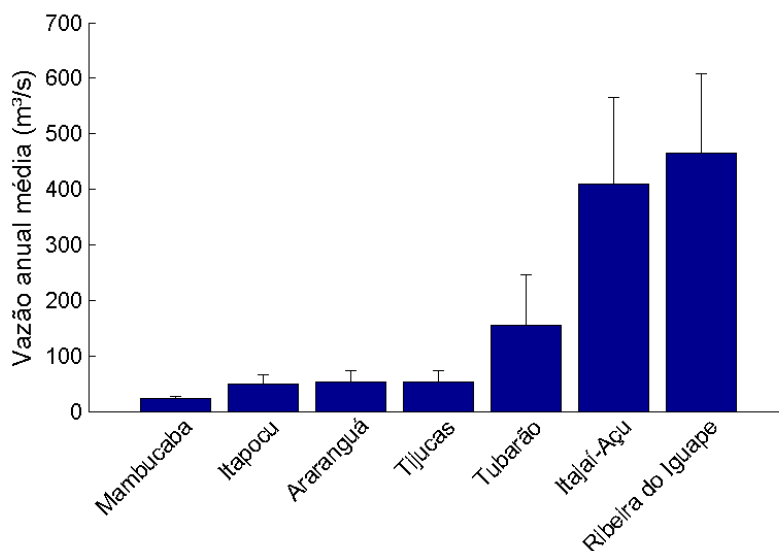


Figura 23. Vazão anual média com barras de desvio padrão (m³/s) para os rios da plataforma Sudeste.

O setor Sudeste da PCB recebe drenagem proveniente da bacia Atlântico Sudeste (rios Mambucaba e Ribeira do Iguape) e da bacia Atlântico Sul (os demais). Contudo, há forte similaridade entre as características climáticas de ambas. Com exceção do Ribeira do Iguape, todos os rios dessa região apresentam comportamento de baixa sazonalidade, com vazão média mensal variando pouco ao longo do ano. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo *Cfa*, clima oceânico, sem estação seca e verão quente, à jusante dos rios; e do tipo *Cfb*, clima oceânico, sem estação seca e verão temperado, na parte mais interna das maiores bacias de drenagem.

#### 4.3.2 Sazonalidade

A máxima climatológica para todos os rios ocorre em fevereiro, exceto para o rio Itajaí-Açu, que ocorre um pouco mais cedo, em janeiro (Figura 24). Já a mínima climatológica ocorre no outono para os rios Itajaí-Açu e Tijucas (mês de abril), e no inverno para os demais, sendo em junho para o Araranguá e em agosto para os demais. A Figura 25 representa a climatologia dos maiores rios dessa região, que são também representativos de 3 regimes diferentes e, geograficamente, fazem uma boa representação da Plataforma Continental: o Ribeira do Iguape ao Norte, o Itajaí-Açu no centro, e o Tubarão ao Sul.

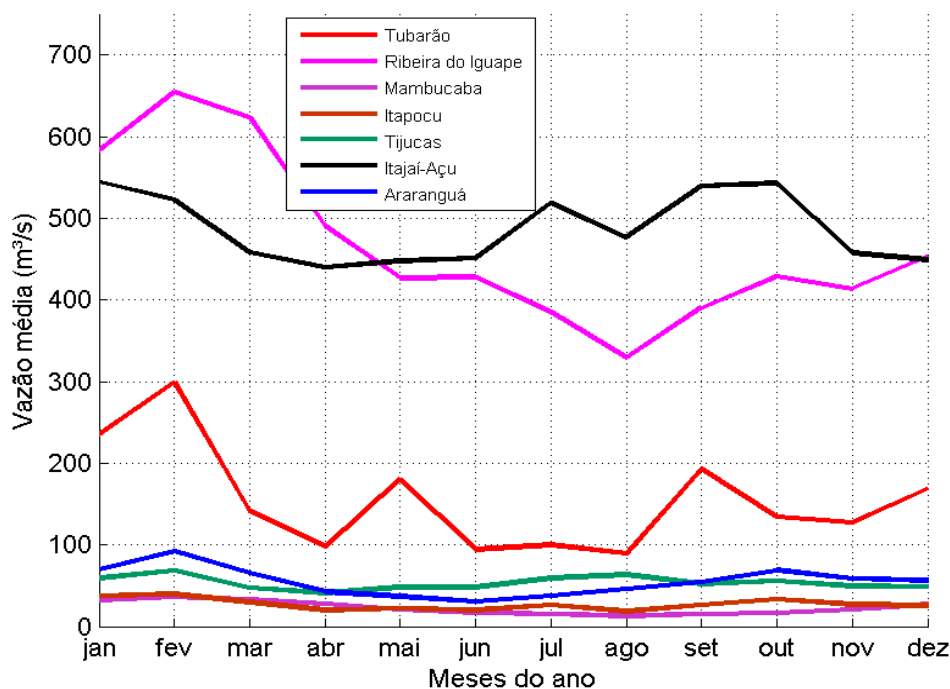


Figura 24. Climatologia da vazão média (m<sup>3</sup>/s) para os rios que deságuam na Plataforma Continental Sudeste.

Os rios Ribeira do Iguape e Itajaí-Açu possuem magnitude de vazão similar, com a diferença de que o primeiro possui maiores vazões no primeiro semestre do ano civil, enquanto o segundo alcança maiores valores na segunda parte do ano. O rio Tubarão, por sua vez, apresenta um comportamento intermediário. Observa-se um pico de vazão no verão que é seguido por uma diminuição no outono, porém com um desvio padrão médio de 229 m<sup>3</sup>/s no mês de maio. Em seguida, no inverno, a vazão torna-se aproximadamente constante e em torno de 94 m<sup>3</sup>/s. Já na primavera, em setembro, há um novo aumento, bastante similar àquele de maio, também acompanhado de uma certa constância nos meses seguintes.

Com relação ao Ribeira do Iguape, os picos de vazão no verão são corroborados com a distribuição de chuvas, uma vez que os meses considerados como estação das chuvas ocorre de outubro ao mês de março, explicando o aumento das vazões observado a partir de outubro, culminando no verão. Essa estação também é acompanhada pela maior frequência de inundações. Segundo Ferreira (2013), a estação Registro apresenta 119 eventos dessa natureza, sendo que mais de 50% desses ocorrem nos meses de janeiro, fevereiro e março. A segunda época de maior frequência de inundações é o outono.

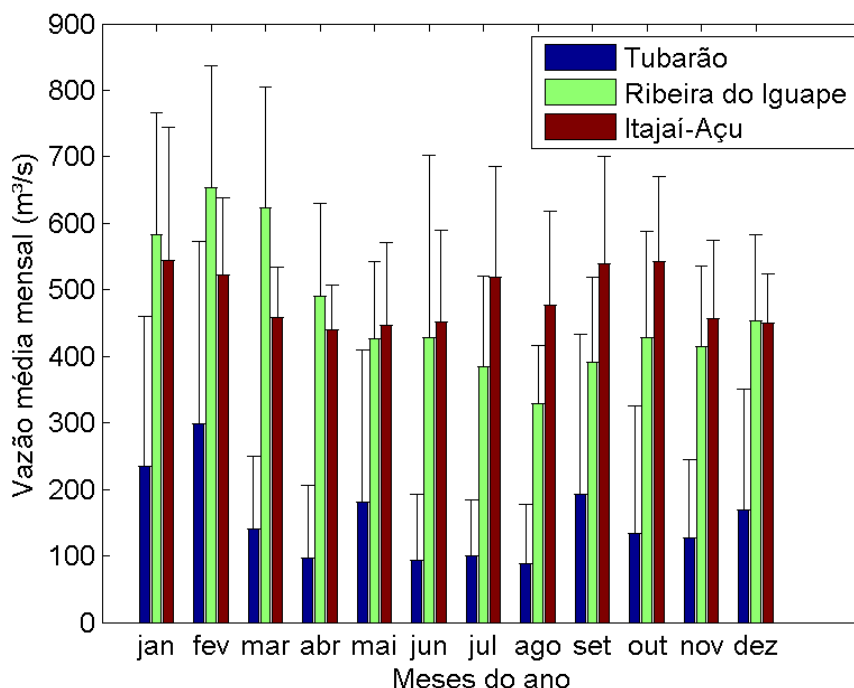


Figura 25. Climatologia da vazão média com barras de desvio padrão (m³/s) para os principais rios da Plataforma Continental Sudeste.

Segundo os dados pluviométricos da estação Rio do Pouso, sob monitoramento da ANA e correspondente mais próxima à estação fluviométrica Tubarão utilizada neste trabalho, também há correspondência entre os dados de precipitação e a vazão do rio Tubarão. Na estação Rio do Pouso, os maiores valores de precipitação mensal encontram-se nos meses de janeiro a março, variando entre 141 e 173 mm, chegando a um valor mínimo em julho de 68 mm e aumentando novamente até outubro, em que alcança 114 mm. De acordo com D'Aquino *et al.* (2011), a vazão média histórica do rio Tubarão é de 146 m³/s (comparada a 154 m³/s deste trabalho), e para o mês de maio é de 181 m³/s, coincidente com a média calculada por este trabalho (180,7 m³/s).

Com relação ao rio Itajaí-Açu, a precipitação média mensal também consegue explicar a climatologia de vazões. Segunda a estação pluviométrica Indaial, a mais próxima da estação fluviométrica de Blumenau (83800002) utilizada nesse estudo, janeiro, fevereiro e outubro são os meses de máxima precipitação: 170 mm, 195 mm e 166 mm, respectivamente (DNMET 1992 *apud* MMA 2006b). Schettini (2002), utilizando a estação de Indaial, localizada 30 km à montante em relação à estação Blumenau, concluiu que a descarga média mensal desse rio apresenta dois picos de máxima descarga ao longo do ano, em fevereiro ( $285 \pm 185$  m³/s) e em outubro ( $209 \pm 110$  m³/s). Para esses meses, esse trabalho encontra valores de  $493 \pm 100$  m³/s e  $512 \pm 111$  m³/s, respectivamente. A discrepância entre

os valores descritos pode ser derivada de dois fatores principais: i) as estações não são as mesmas, e de acordo com Schettini (2002) a estação Blumenau sofre forte influência da maré, o que pode afetar os resultados; ii) o período de dados é diferente, sendo de 1934 a 1998 para a estação Indaial e de 1971 a 2004 para a Blumenau.

#### **4.3.3 Cálculo da vazão na foz**

Para esta Plataforma Continental, foi utilizado o cálculo da vazão na foz segundo a regionalização. Devido à homogeneidade sazonal e de clima dos rios, não houve necessidade de se dividir a plataforma, criando-se apenas uma curva regional para cada mês. A melhor representação foi dada pela regressão linear, sendo que apenas os meses de julho a outubro apresentaram coeficientes de determinação considerados apenas razoáveis ( $0,72 < R^2 < 0,79$ ), enquanto os demais meses apresentaram coeficientes muito altos ( $0,85 < R^2 < 0,98$ ), indicando que a regressão pôde explicar grande parte da variabilidade dos dados de vazão (Tabela 6). Os gráficos gerados para essa regionalização, bem como o valor da vazão mensal na foz para todos os rios, encontram-se respectivamente nos Anexos 1 e 3.

Os incrementos de vazão na foz em relação ao respectivo valor na estação estão dispostos na Tabela 7. Observa-se uma relação de proporção direta entre o incremento de área e o de vazão. Os rios Itapocu e Araranguá foram os que apresentaram maior incremento de área (62,93% e 44,79%, respectivamente) e conseqüente maior incremento de vazão. O rio Itapocu apresentou valores de incremento variando entre 81,04 % e 70,47%, enquanto o rio Araranguá obteve maior variação: de 22,27% a 39,83%. O rio Mambucaba foi aquele de menor incremento de área (12,91%) e seus valores relativos às variações na vazão foram de apenas 1,07% a 1,90%, com variação máxima entre meses de apenas 0,83%.

A Figura 26 apresenta as médias (em azul) e o acréscimo (em preto) referente às máximas climatológicas para cada rio. Com a transposição do valor à foz, observa-se que, dos rios de menor vazão na estação, apenas o rio Itapocu passou a ter uma média superior a 100 m<sup>3</sup>/s (máxima climatológica de 141,2 m<sup>3</sup>/s). O rio Araranguá obteve máxima de 118,9 m<sup>3</sup>/s, porém a média foi de cerca de 76,2 m<sup>3</sup>/s. Os maiores rios, Tubarão, Ribeira do Iguape e Itajaí-Açu, obtiveram médias de 190,6; 506,2; e 513,8 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Observa-se que, comparado aos valores médios nas estações, o rio Itajaí-Açu apresentou maior média em relação ao Ribeira do Iguape, embora este último possua maior variação e apresente uma máxima climatológica de 702,8 m<sup>3</sup>/s, comparada a 575,7 m<sup>3</sup>/s do Itajaí-Açu.

Tabela 6. Equações e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) mensais para os rios da Plataforma Continental Sudeste.

Mês	Equação	R <sup>2</sup>
<b>Janeiro</b>	$y = 0,028x + 50,584$	0,89
<b>Fevereiro</b>	$y = 0,030x + 63,368$	0,90
<b>Março</b>	$y = 0,029x + 20,874$	0,98
<b>Abril</b>	$y = 0,025x + 15,057$	0,94
<b>Mai</b>	$y = 0,022x + 36,756$	0,85
<b>Junho</b>	$y = 0,023x + 17,344$	0,88
<b>Julho</b>	$y = 0,022x + 29,790$	0,77
<b>Agosto</b>	$y = 0,019x + 32,114$	0,73
<b>Setembro</b>	$y = 0,022x + 49,935$	0,72
<b>Outubro</b>	$y = 0,023x + 40,733$	0,79
<b>Novembro</b>	$y = 0,022x + 33,852$	0,85
<b>Dezembro</b>	$y = 0,023x + 38,366$	0,88

Tabela 7. Incrementos de vazão (%) na foz com relação à vazão monitorada, e incrementos de área estimada, i.e. a região entre a estação e a foz, com relação à área total da bacia, para a Plataforma Continental Sudeste.

	Incremento de vazão (%)						
	Mambucaba	Itapocu	Araranguá	Tijucas	Tubarão	Ribeira do Iguape	Itajaí-Açu
<b>Incremento de área (%)</b>	12,91	62,93	44,79	21,97	42,06	21,55	22,57
<b>Janeiro</b>	1,16	71,92	26,66	6,94	15,27	7,35	5,45
<b>Fevereiro</b>	1,08	72,02	22,27	6,38	12,97	6,91	5,94
<b>Março</b>	1,17	76,98	28,45	8,82	23,75	7,15	6,64
<b>Abril</b>	1,16	81,04	34,13	8,53	27,51	7,61	5,87
<b>Mai</b>	1,36	76,83	34,25	6,60	15,24	7,68	5,11
<b>Junho</b>	1,69	79,74	39,83	6,84	26,52	7,97	5,28
<b>Julho</b>	1,87	74,18	34,03	5,42	24,72	8,50	4,47
<b>Agosto</b>	1,90	77,77	26,91	4,46	24,22	8,62	4,24
<b>Setembro</b>	1,88	73,95	26,17	6,08	14,35	8,29	4,25
<b>Outubro</b>	1,85	70,47	23,17	6,15	20,70	8,16	4,55
<b>Novembro</b>	1,37	73,40	24,56	6,32	20,24	7,82	4,96
<b>Dezembro</b>	1,07	75,25	26,23	6,73	16,66	7,51	5,27

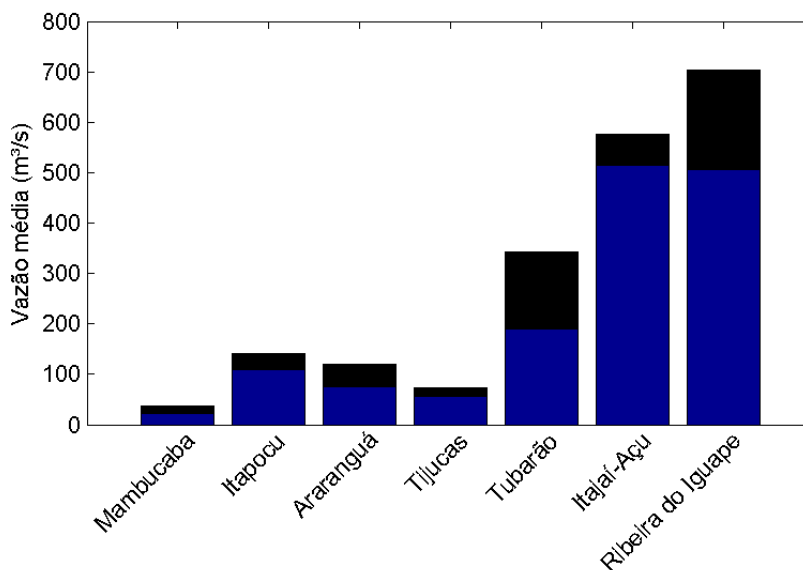


Figura 26. Vazão média (m<sup>3</sup>/s) na foz (em azul), e incremento da máxima vazão mensal encontrada na climatologia de cada rio (em preto) que deságua na Plataforma Continental Sudeste.

#### 4.3.4 Variação interanual

Para a interpretação da variação interanual, foram escolhidos os rios de destaque em termos de sazonalidade e magnitude de vazão: Ribeira do Iguape, Itajaí-Açu e Tubarão. De forma geral, observa-se uma tendência dos rios a apresentarem um comportamento comum em um determinado período de tempo. Além disso, o histograma das anomalias médias anuais para os rios da plataforma Sudeste (Figura 27) mostram que a maior parte das anomalias foram iguais a zero ou negativas, sugerindo que a região pode estar tendo uma diminuição na descarga fluvial.

##### 4.3.4.1 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

Os rios Ribeira do Iguape, Itajaí-Açu e Tubarão apresentaram correlação no comportamento da vazão durante importantes eventos de ENOS [Ferreira (2013), Isla & Toldo Junior (2013) e Marques (2010), respectivamente]. A Figura 28 mostra o comportamento das anomalias de vazão anual e de SOI. Espera-se que em fases de La Niña (SOI > 0), haja diminuição da precipitação no Sudeste do país, de forma a obter anomalias negativas de vazão, enquanto o oposto acontece nas fases de El Niño (SOI < 0). Um bom exemplo de possível correlação é no evento de La Niña ocorrido entre 1999 – 2001, em que quase todas as estações apresentaram anomalias negativas.

Para o rio Tubarão, segundo Marques (2010), a influência do El Niño na precipitação anual foi bastante evidente nos anos de 1982/1983, os quais não possuem registro na estação fluviométrica utilizada nesse estudo (estação Tubarão: 84580500), quando houve o maior valor absoluto de toda a série de 60 anos. Já no maior El Niño do século XX, ocorrido de 1997/1998, não houve aparente correlação entre os dados de vazão e precipitação na estação utilizada nesse trabalho. Contudo, para o El Niño de 2002 – 2003, cuja intensidade foi moderada, o rio apresentou anomalias positivas de mais de 1,5, i.e. uma condição hídrica classificada como muito úmida, segundo a proposta de Genz & Luz (2012).

Com relação ao Ribeira do Iguape, o El Niño ocorrido em 1983 refletiu nos picos anuais de máximas chuvas e máximas vazões, dando origem a grandes inundações (Ferreira 2013). Nesse trabalho, a estação de Jacupiranga de fato obteve anomalias positivas ( $> 2$ ) nos eventos de 1983, quanto de 1997-1998, contudo o mesmo não foi observado na estação de Registro. No caso do rio Itajaí-Açu, o evento mais marcante foi o de 1983, que resultou numa máxima vazão de 5390 m<sup>3</sup>/s derivada de um aumento na precipitação durante o El Niño, podendo ser observada pela anomalia de quase 4 na estação Brusque.

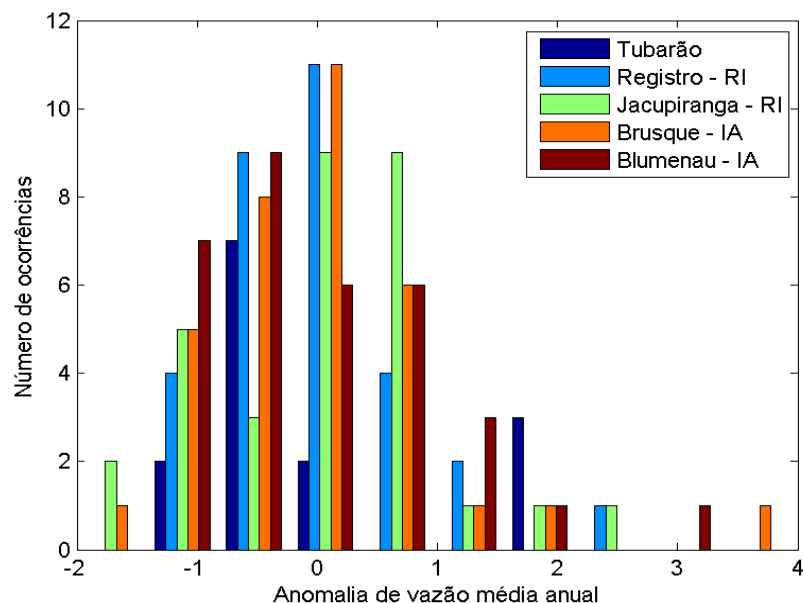


Figura 27. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Sudeste.



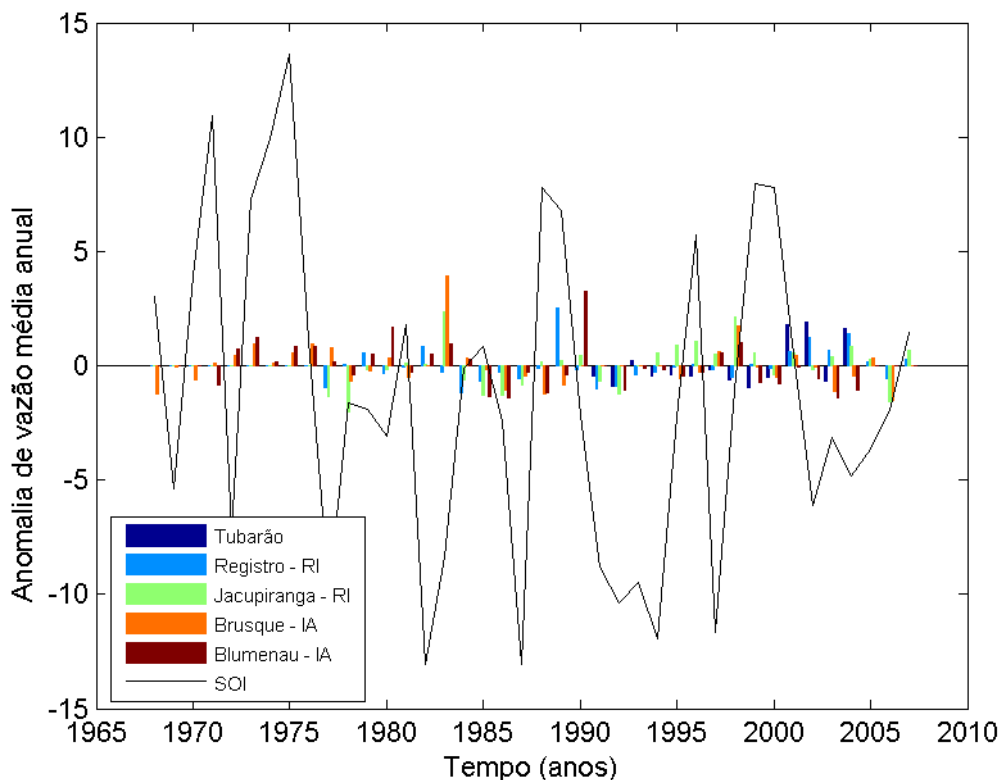


Figura 28. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média para a Plataforma Continental Sudeste. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. RI representa a bacia Ribeira do Iguape; IA, a bacia Itajaí-Açu.

## 4.4 PLATAFORMA CONTINENTAL SUL

### 4.4.1 Seleção de dados e caracterização geral

A Plataforma Continental Sul consiste no menor dos compartimentos definidos por Knoppers *et al.* (1999), e encontra-se localizada em território do estado do Rio Grande do Sul. A drenagem que afeta essa plataforma, derivada de rios com foz em território brasileiro, é formada principalmente pelo rio Jacuí e seus afluentes, e pelos rios Camaquã e Piratini. O aporte fluvial derivado desses rios tem saída comum para o oceano através da Lagoa dos Patos. A Tabela 8 sintetiza os rios selecionados após a aplicação dos critérios definidos na metodologia, bem como as informações relevantes para a caracterização do aporte fluvial na região.

A bacia do rio Jacuí, composta pela junção dos rios tributários Caí, Dos Sinos e Taquari, consiste na principal fonte de aporte fluvial vindo de território brasileiro para a plataforma Sul. Esse conjunto também é conhecido como o complexo Jacuí – Guaíba por

desaguar no lago Guaíba, no noroeste da Lagoa dos Patos. O rio Jacuí e seu tributário Taquari são responsáveis por cerca de 85% do fluxo de água fluvial que chega à laguna (Möller *et al.* 2001). O rio Camaquã contribui com cerca de 8%, sendo mais importante em períodos de enchente (Dias 2002). A vazão anual média para os rios Piratini, Camaquã e Jacuí, bem como as barras de desvio padrão, podem ser observadas na Figura 29.

Tabela 8. Informação sobre os rios selecionados que deságuam na Plataforma Continental Sul, dispostos em ordem crescente de área de drenagem monitorada.

Bacia	Nome do rio	Estação	Lat	Lon	Área da estação (km <sup>2</sup> )	Ano final	Duração (anos)	Vazão na estação (m <sup>3</sup> /s)	Área da estação (%)
Jacuí	Caí	87170000	-29,59	-51,38	3097	2005	30	67,63	
Jacuí	Jacuí	85900000	-29,99	-52,38	38700	2006	30	962,15	
Jacuí	dos Sinos	87382000	-29,76	-51,15	3131	2005	28	93,57	
Jacuí	Taquari	86720000	-29,23	-51,85	19200	2006	21	562,16	
Jacuí					64128			1685,51	69,28
Camaquã	Camaquã	87905000	-31,01	-52,05	15543	2007	30	366,54	92,71
Piratini	Piratini	88680000	-31,90	-52,65	5370	1983	20	92,56	21,75

Os rios Taquari e Piratini foram os que apresentaram as menores séries temporais, 21 e 20 anos, respectivamente. Os demais rios tiveram séries próximas a 30 anos, com ano final entre 2005 e 2007, com exceção do rio Taquari, cuja série se estende até 1983. A área total de drenagem ( $A_t$ ) correspondente ao aporte fluvial que chega à essa plataforma é de 157.382 km<sup>2</sup>, sendo 54,3% sob monitoramento da ANA ( $A_m$ ), 31,1% referentes à área localizada entre a estação de monitoramento mais à jusante e a foz de cada rio ( $A_{est}$ ), e 14,6% ausentes de monitoramento ( $A_{exc}$ ).

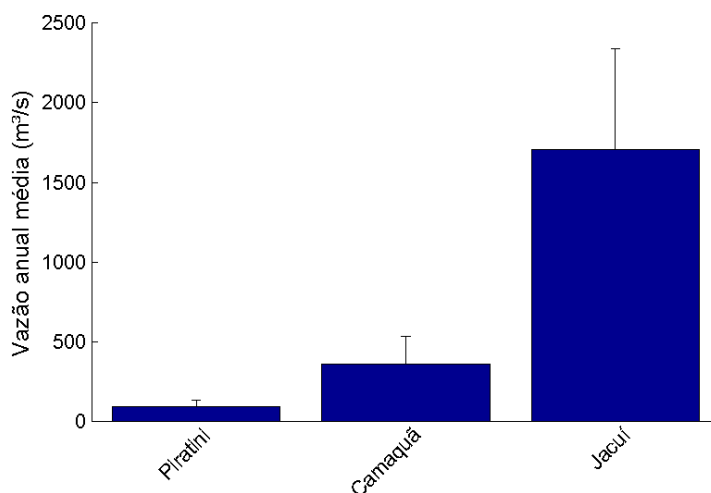


Figura 29. Vazão anual média com barras de desvio padrão (m<sup>3</sup>/s) para os rios da Plataforma Continental Sul.

#### 4.4.2 Sazonalidade

Segundo a classificação climática de Köppen, a região hidrográfica do Atlântico Sul, a qual engloba os rios da plataforma em questão, é do tipo Cf, i.e. temperado chuvoso, sem estação seca. Observa-se que a descarga fluvial é caracterizada por fortes enchentes derivadas da alta precipitação no fim do inverno e início da primavera, e fluxo baixo a moderado o resto do ano (Figura 30).

A Figura 31 mostra a climatologia média dos rios Camaquã, Piratini e da bacia Jacuí, bem como as barras de desvio padrão mensal. A bacia Jacuí apresenta os maiores valores de vazão e os maiores desvios, sendo caracterizada por dois picos de vazão: em julho (2527 m<sup>3</sup>/s), no inverno, e em outubro (2361 m<sup>3</sup>/s), no início da primavera. Os rios Camaquã e Piratini, cujas vazões médias na estação de monitoramento são 367 m<sup>3</sup>/s e 93 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, também possuem os maiores valores de vazão localizados no inverno e início de primavera. As máximas climatológicas desses rios acontecem em julho e são de 542 m<sup>3</sup>/s e 219 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Já as mínimas vazões desses rios tendem a ocorrer em janeiro, durante o verão. As mínimas médias climatológicas dos rios Jacuí, Camaquã e Piratini foram, respectivamente, de 872 m<sup>3</sup>/s, 152 m<sup>3</sup>/s e 39 m<sup>3</sup>/s.

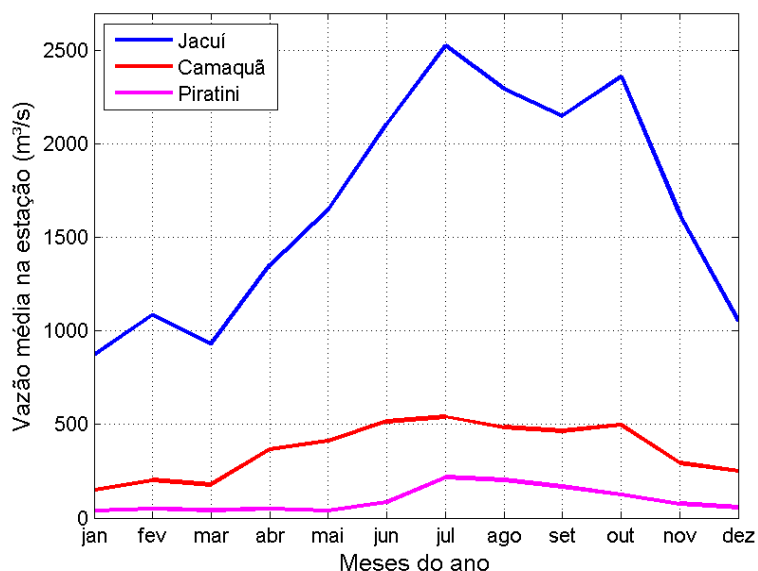


Figura 30. Climatologia da vazão média (m<sup>3</sup>/s) para os rios que deságuam na Plataforma Continental Sul.

A maior vazão média durante o inverno tem correlação com o regime de precipitação da região. De acordo com Grimm *et al.* (1998), na parte Sudeste do Rio Grande do Sul o inverno é a estação chuvosa, que é uma característica de regime de média latitude, onde a precipitação ocorre devido à penetração de frentes associadas com a migração de ciclones

extratropicais. O regime de precipitação elevado durante o inverno, combinado com a menor evaporação devido a baixas temperaturas, explica o aspecto geral da sazonalidade dos rios em questão. Variações entre as sazonalidades podem ser explicadas principalmente com base nas sub-divisões de clima de Köppen. Segundo o MMA (2006), no caso da bacia do rio Jacuí, por exemplo, apesar da classificação do clima ser predominantemente do tipo *Cfa*, i.e. clima temperado chuvoso, sem estação seca e verão quente; parte de seus afluentes (e.g. rios Caí e Taquari) apresentam classificação do tipo *Cfb* (clima temperado chuvoso, sem estação seca, verão ameno) na altura de suas nascentes.

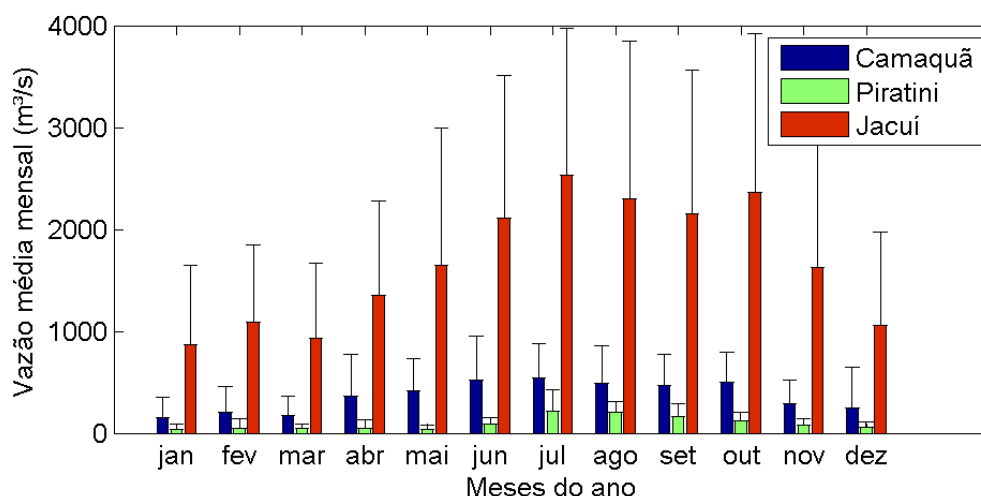


Figura 31. Climatologia da vazão média com barras de desvio padrão (m³/s) para os principais rios da Plataforma Continental Sul.

Vaz *et al.* (2006), em uma análise dos rios que deságuam na Lagoa dos Patos, obteve alguns valores médios para as vazões dos rios Jacuí, seu afluente Taquari, e também para o rio Camaquã, com relação às estações de monitoramento. A média anual da descarga do rio Jacuí foi de 1483 m³/s (comparado a 1686 m³/s, neste trabalho), e para o Camaquã, o valor foi de 307 m³/s (comparado a 367 m³/s, neste trabalho). Há 3 possibilidades para explicar a diferença entre os valores dos dois trabalhos: i) as metodologias são diferentes, uma vez que os autores fazem uso de regressões para o preenchimento dos meses ausentes de valores nas séries de dados.; ii) o tamanho das séries temporais não é o mesmo, uma vez que os autores não limitam a extensão das mesmas; iii) houve diferenças na escolha das estações de monitoramento.

#### 4.4.3 Cálculo da vazão na foz

Para esta etapa foi utilizado o método de proporção entre áreas, devido a 1) o reduzido tamanho da amostra de dados (apenas 3 pontos). Segundo Hair *et al.* (2009 *apud*

Figueiredo Filho *et al.* 2011), a razão entre o número de casos e o número de variáveis independentes nunca deve ser inferior a cinco; 2) a vazão do rio Jacuí estar numa ordem de grandeza ( $10^3$  m<sup>3</sup>/s) diferente dos demais rios ( $10^1$  e  $10^2$  m<sup>3</sup>/s); 3) a área monitorada do rio Piratini ser de apenas 21,75% da área de drenagem total do mesmo, o que compromete a qualidade da regionalização (Tabela 9).

Tabela 9. Valores das áreas dos rios da plataforma Sul (km<sup>2</sup>), e a porcentagem da área estimada.

Rio	Área monitorada (km <sup>2</sup> )	Área total (km <sup>2</sup> )	Área estimada (%)
Camaquã	15543	92560,41	7,29
Piratini	5370	24687,87	78,25
Jacuí	64128	16765,37	30,72

A Tabela 9 demonstra a relação de incremento de área em porcentagem para cada um dos rios, i.e. qual a porcentagem da área estimada pela aproximação, em relação à área total de drenagem de cada bacia, que no caso do método de razão entre áreas, também corresponde ao incremento da vazão estimada na foz. Assim, utilizando os valores de vazão monitoradas ( $Q_m$ ) e de áreas total e monitorada (Tabela 10) é possível calcular a vazão na foz ( $Q_e$ ).

A Figura 32 representa a média geral da vazão de cada rio na foz (em azul) e a respectiva máxima vazão média climatológica (incremento em preto com relação à média). Observa-se que o rio Piratini apresenta a maior variação entre valor médio e máxima climatológica (mês de julho), o que também pode ser observado pela Figura 31.

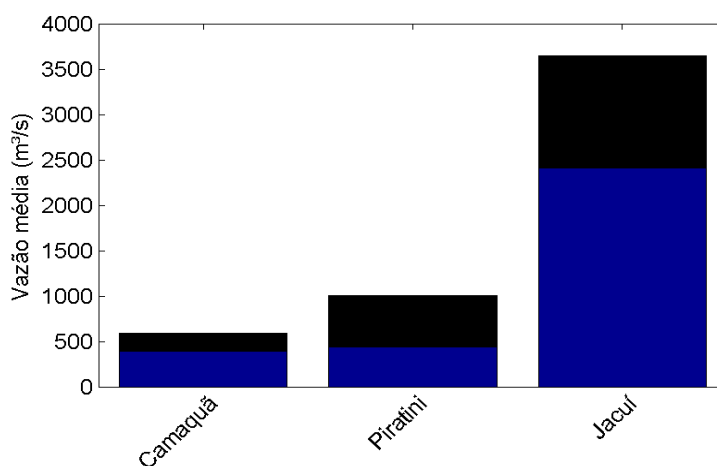


Figura 32. Vazão média (m<sup>3</sup>/s) na foz (em azul), e incremento da máxima vazão mensal encontrada na climatologia de cada rio (em preto) que deságua na Plataforma Continental Sul.

Tabela 10. Valores de vazão monitorada (Qm) e estimada (Qe) em m<sup>3</sup>/s para os rios da plataforma Sul.

Meses	Qe (m <sup>3</sup> /s) Camaquã	Qm (m <sup>3</sup> /s) Camaquã	Qe (m <sup>3</sup> /s) Piratini	Qm (m <sup>3</sup> /s) Piratini	Qe (m <sup>3</sup> /s) Jacuí	Qm (m <sup>3</sup> /s) Jacuí
Janeiro	164,43	152,44	178,84	38,90	1258,52	871,93
Fevereiro	218,67	202,73	226,36	49,24	1566,21	1085,10
Março	192,10	178,10	196,89	42,83	1343,57	930,86
Abril	395,31	366,49	223,88	48,70	1952,28	1352,58
Maio	443,70	411,35	178,00	38,72	2379,63	1648,66
Junho	556,61	516,03	391,20	85,09	3040,25	2106,35
Julho	585,16	542,50	1005,72	218,76	3647,35	2526,97
Agosto	524,87	486,60	929,98	202,29	3312,59	2295,04
Setembro	503,47	466,77	767,71	166,99	3103,98	2150,51
Outubro	537,41	498,23	578,42	125,82	3407,41	2360,73
Novembro	317,16	294,03	351,64	76,49	2343,01	1623,29
Dezembro	270,69	250,95	259,30	56,40	1526,00	1057,25

#### 4.4.4 Variação interanual

Os valores de anomalias de vazão média anual se apresentaram principalmente no intervalo de -1 a 1, sugerindo um comportamento aproximadamente normal para as vazões, a exemplo do rio Caí. Já o Camaquã aparenta ter uma distribuição de anomalias variando de normal a seco, tendendo a valores mais negativos. Por fim, o rio Piratini parece ser mais suscetível a variações da vazão em torno da média, apresentando maior frequência de anomalias superiores a -1 e a 1 (Figura 33).

A variação interanual foi observada através dos resultados de anomalia de vazão média anual calculadas demonstradas na Figura 34. De forma geral, observou-se um comportamento similar entre as estações para um mesmo intervalo de tempo, com algumas exceções, a exemplo do intervalo entre os anos 1985 – 1987, e também 2005, em que o rio Taquari apresentou anomalias negativas, e uma positiva, respectivamente, em oposição ao comportamento dos demais.

##### 4.4.4.1 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A região Sul do Brasil tem sido utilizada em diversos estudos de correlação entre a variabilidade anual das vazões de rios e eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS) (e.g. Grimm *et al.* 1998, 2000; Barros & Marques 2012; Isla & Toldo Junior 2013; Vaz *et al.* 2006). Observa-se que, de forma geral, anomalias de vazão positivas (negativas) são associadas à fase de El Niño (La Niña) da oscilação.

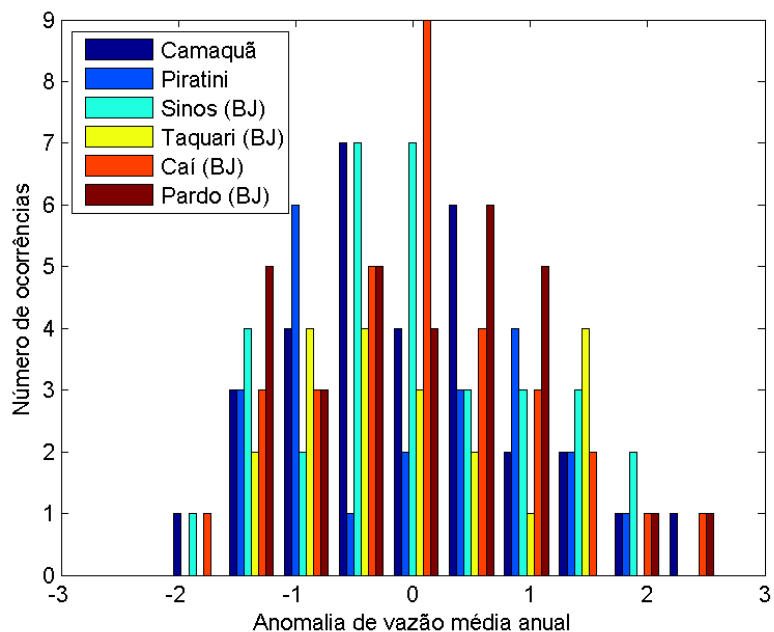


Figura 33. Histograma da anomalia de vazão média anual para a Plataforma Continental Sul.

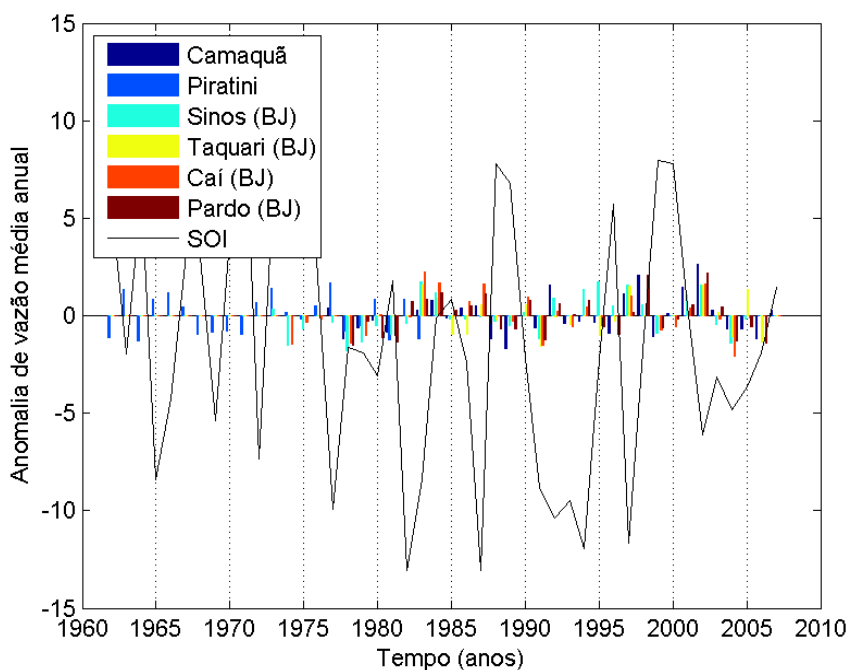


Figura 34. Gráfico representando a variação interanual por meio de anomalias de vazão média, para a Plataforma Continental Sul. O eixo Y também explica a variação de SOI, o qual é utilizado para observar a possibilidade de correlação entre as anomalias e os eventos de ENOS. BJ representa a bacia Jacuí.

A Figura 34 mostra o comportamento das anomalias de vazão anual e de SOI. É possível observar a relação oposta entre os parâmetros em muitos intervalos, por exemplo:

- i) El Niño (SOI < 0) acompanhado de anomalias positivas de vazão: 2002 – 2003; 1996 – 1997; 1986; 1982 (de acordo com Grimm *et al.* 1998 e Barros e Marques 2012);
- ii) La Niña (SOI > 0) acompanhado de anomalias negativas de vazão: 1998 – 1999; 1988 (de acordo com Grim *et al.* 1998 e Hasson *et al.* 2014).

Contudo, também possível observar algumas anomalias de vazão positivas, e.g. 1984, que não são associados diretamente a eventos de El Niño. Esses casos podem ser explicados por conta do padrão sazonal da região. No caso de 1984, pode-se associar esse comportamento ao grande número de frentes frias que ocorreram na região Sul do Brasil neste mesmo ano, resultando em aumento da precipitação e consequente aumento da vazão dos rios associados (Grimm *et al.* 1998).

De acordo com Barros & Marques (2012), a descarga de água doce proveniente dos principais tributários da Lagoa dos Patos são influenciados pelo ENOS em ciclos de 3.8 a 6 anos. Os valores negativos de SOI (fase El Niño) foram associados, com certo atraso, a anomalias positivas de vazão, a exemplo dos períodos 1986-87 e 1998-99; enquanto os índices positivos (fase La Niña) foram correlacionados aos períodos de menor vazão nos períodos de 1977-78 e 1985-86, indicando um relacionamento inverso entre os parâmetros anomalia de vazão e SOI, com possível atraso temporal. Segundo estes autores, o atraso entre as anomalias de precipitação e os eventos ENOS variam de ano para ano e precisam ser investigados em futuros estudos a fim de dar melhor subsídio ao gerenciamento costeiro no que diz respeito às enchentes relacionadas à fase El Niño da oscilação.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho avaliou a variação sazonal do aporte fluvial médio na PCB em seus setores Norte, Nordeste, Sul e Sudeste. Ao todo foram selecionadas 40 bacias hidrográficas de maior magnitude e 57 estações de monitoramento, das quais se obteve a vazão média para cada uma das bacias. A fim de se obter o aporte fluvial na Plataforma Continental, utilizaram-se dois métodos para a aproximação dos valores de vazão na estação para a foz: o método da regionalização, aplicado na plataforma Norte e Sudeste; e o método da razão entre áreas, utilizado nas plataformas Nordeste e Sul.

O aporte médio resultante, que corresponde às quatro plataformas, foi de 235.321 m<sup>3</sup>/s por mês, ou aproximadamente 0,24 Sv. Desse total, os rios que possuem maior contribuição são o Amazonas (88%), o Tocantins (5%) e o São Francisco (1,2%). Assim, a Plataforma Continental Norte (PCN) é aquela que suporta maior influência fluvial, correspondendo a 18 rios que totalizam um aporte de 227.438 m<sup>3</sup>/s mensal ou aproximadamente 0,2 Sv. Desse



total, 91,3% correspondem ao Amazonas e 5,3% ao Tocantins. Em segundo lugar, a Plataforma Continental Nordeste (PCNE) contribui com 3.273 m<sup>3</sup>/s mensais, seguida da Plataforma Continental Sul (PCS) com 3.240 m<sup>3</sup>/s. A plataforma de menor contribuição mensal é a Sudeste (PCSE), com 1.371 m<sup>3</sup>/s (Figura 36). É importante ressaltar que a PCS possui relativamente uma das maiores interações com o aporte fluvial, uma vez que sua linha de costa é de apenas 713 km. Um outro motivo é que toda a drenagem proveniente do território brasileiro tem saída comum pela Lagoa dos Patos, intensificando os processos resultantes da interação entre a descarga dos rios e a PCS.

Devido à importância do setor Norte da PCB, comparou-se os valores de 13 dos 18 rios que deságuam nessa região com aqueles obtidos de Dai *et al.* 2009, para ilustrar a diferença nos métodos. Essa comparação pode ser feita através da Figura 35. Os valores de vazão na foz foram maiores nesse trabalho na maioria dos casos, exceto para os rios Coreau, Acarau, Gurupi e Mearim. Contudo, para a maior parte dos casos, a porcentagem da diferença entre as médias geradas na foz e a maior média foi cerca de 1 – 17 %. Para os rios Munim, Coreau, Maracaçume e Piriá, essa diferença foi maior, variando entre 26% (Munim) e 67% (Maracaçume). Há duas principais explicações para essas diferenças: 1) há diferenças entre as estações escolhidas; 2) Dai *et al.* 2009 não discrimina a junção de afluentes que deságuam num mesmo rio principal como formando uma única bacia; 3) Dai *et al.* 2009 não delimita o intervalo de tempo dos dados, utilizando a série completa disponível nos bancos de dados.

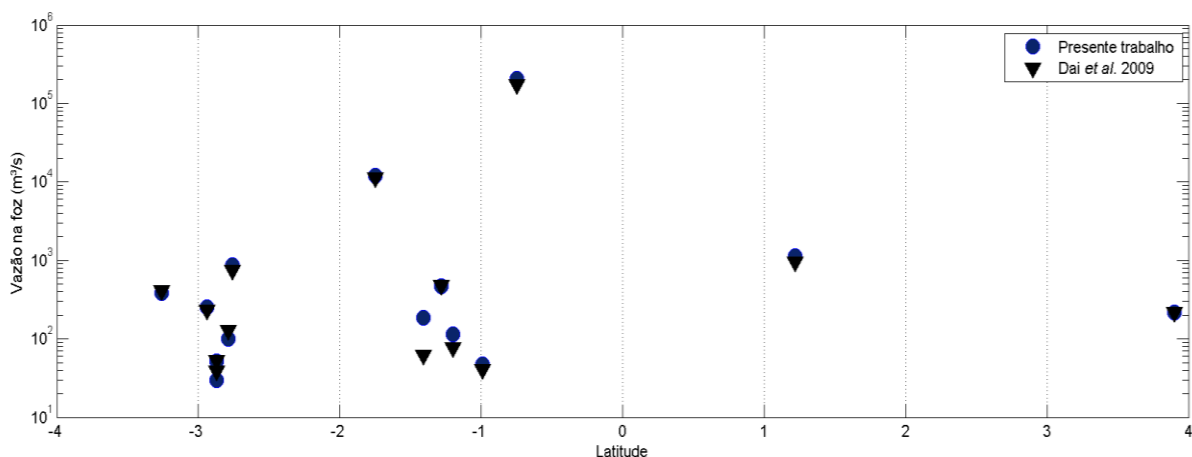


Figura 35. Demonstração da variação latitudinal da vazão na foz para rios que deságuam na Plataforma Continental Norte e comparação com valores obtidos por Dai *et al.* 2009.

Em termos de variação na magnitude de vazão por setor da Plataforma Continental, a Tabela 11 sintetiza a porcentagem do número de rios em cada plataforma nos diferentes intervalos. A maior parte dos rios, exceto no caso da Plataforma Continental Nordeste, encontram-se no intervalo de  $100 \leq Q < 500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Já os incrementos de vazão médios, i.e. o aumento da vazão média na foz com relação ao valor médio registrado na estação monitorada situada no ponto mais a jusante, encontram-se sintetizados na Tabela 12. Pode-se notar uma similaridade entre os incrementos de área e vazão, o que era esperado. Os incrementos de vazão variaram entre 5,5% (Nordeste) e 34,3% (Sul).

Tabela 11. Porcentagem do número de rios em cada intervalo de vazão na foz para cada setor da PCB.

Plataforma	Intervalos de vazão média na foz (Q em m <sup>3</sup> /s)			
	Q < 100	100 ≤ Q < 500	500 ≤ Q < 1000	Q ≥ 1000
Norte	28%	39%	11%	22%
Nordeste	84%	8%	-	8%
Sudeste	43%	43%	14%	-
Sul	-	67%	-	33%

Tabela 12. Síntese de incrementos de vazão e de área estimada nos 4 setores da PC.

Plataforma Continental	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul
Área estimada (km <sup>2</sup> )	1188499	85389	15560	48973
Incremento de área (%)	15,9	4,0	20,2	31,1
Incremento de vazão (%)	13,6	5,5	14,1	34,3

Com relação à sazonalidade, há uma grande variação do aporte fluvial máximo entre as plataformas. As máximas vazões climatológicas para as plataformas Norte e Nordeste são predominantemente entre abril e maio (outono), para a Sudeste entre janeiro e fevereiro (verão) e para a Sul, ocorrem em julho (inverno). No entanto, a primavera é a estação do ano que recebe o menor volume de drenagem fluvial.

A variação interanual, a qual foi avaliada através de anomalias em torno da vazão média, também apresentou diferentes comportamentos entre as plataformas. As plataformas Norte e Sul não apresentaram tendências de aumento ou diminuição da vazão a longo prazo quando avaliados seus histogramas de anomalias. A plataforma Nordeste, por outro lado,

apresentou um acúmulo de ocorrências de anomalias negativas que levam a sugerir uma possível queda da vazão média ao longo do tempo, especialmente a partir dos anos 1990, quando os gráficos apresentam uma grande frequência de anomalias desse tipo. Uma possível tendência desse tipo também foi observada na plataforma Sudeste, embora não seja uma característica marcante.

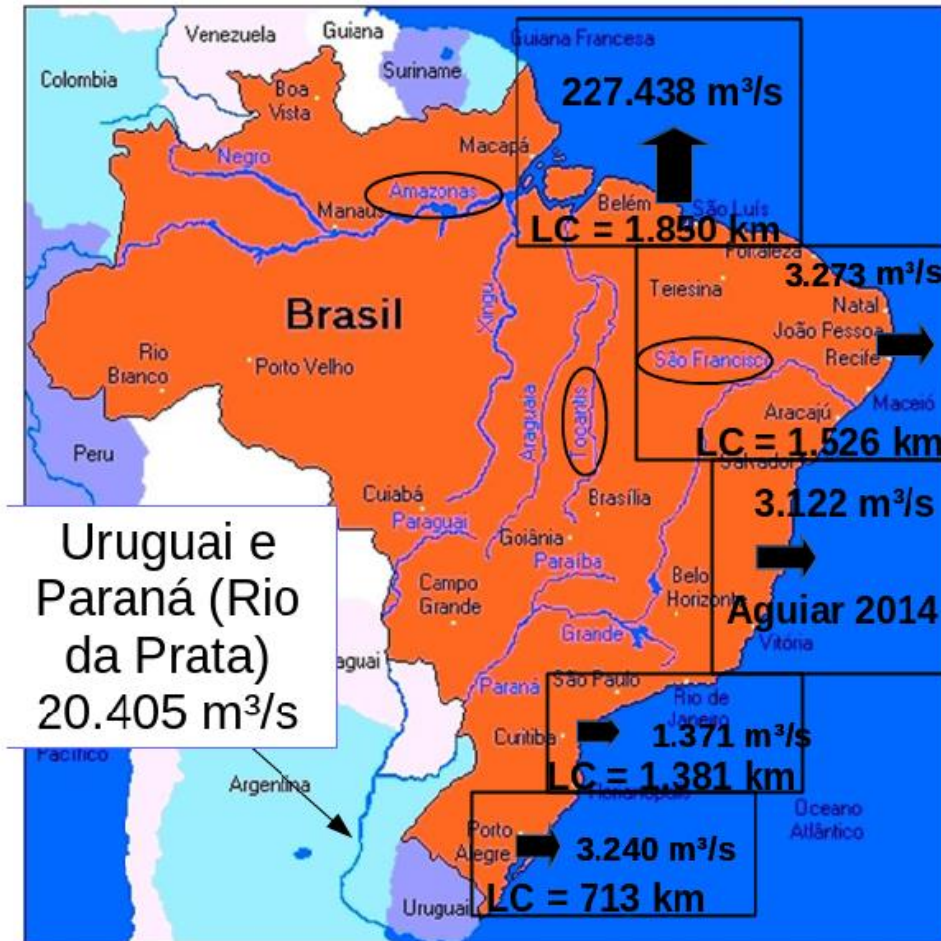


Figura 36. Mapa retirado de Junior *et al.* 2013 – *adaptado*. Representa a descarga média que afeta cada setor da PCB. LC representa a estimativa da linha de costa em cada setor e circulos estão os principais rios com drenagem em território brasileiro.

Quanto à avaliação da influência de eventos ENOS, observaram-se possíveis correlações em muitos eventos de El Niño e La Niña nas plataformas, embora na plataforma Nordeste as anomalias de vazão tenham apresentado pouca compatibilidade com o índice SOI, provavelmente por conta de outros fatores (e.g. barragens). As fases El Niño e La Niña possuem efeitos opostos nos setores Norte e Sul do Brasil, de forma a se esperar um aumento de vazão (decorrente de um aumento na precipitação) na fase de El Niño nas PCS e PCSE ou na fase de La Niña nas PCN e PCNE, e uma queda de vazão na fase de La Niña nas PCS e PCSE ou na fase de El Niño nas PCN e PCNE.

Por fim, é relevante mencionar que esse trabalho está vinculado a Aguiar (2014 – em preparação), cujo foco metodológico utilizou a Plataforma Continental Leste (PCL) como estudo de caso no cálculo da vazão na foz a partir das estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas. A partir dessa parceria, a avaliação do aporte fluvial na PCB se torna completa. A descarga média calculada por esse trabalho para a PCL foi de 3.122 m<sup>3</sup>/s.

Como crítica ao trabalho, é importante ressaltar a necessidade de se englobar os dados de vazão provenientes do estuário do Rio da Prata, na Argentina, aos modelos de circulação regional no Brasil. A descarga média desse corpo d'água segundo Dai *et al.* 2009 é de 20.405 m<sup>3</sup>/s e a pluma fluvial originada não só impacta a PCS, como pode alcançar a PCSE (Soares *et. al.* 2007).

## 6 REFERÊNCIAS

AGUIAR WC (em preparação). 2014. Aporte fluvial na Plataforma Continental Leste do Brasil, sazonalidade e relevância dos principais rios.

ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, MORAES JL & SPAROVEK G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711–728.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2005. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. 123f.

BAUMGARTNER A & REICHEL E. 1975: *The World Water Balance*. Amsterdã: Elsevier, 179f.

BARROS GP & MARQUES WC. 2012. Long-Term Temporal Variability of the Freshwater Discharge and Water Levels at Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Geophysics*, ID 459497, 2012: 11, doi:10.1155/2012/459497.

CARTON JA. 1991. Effect of Seasonal Surface Freshwater Flux on Sea Surface Temperature in the Tropical Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 96(C7): 12593 – 12598.

CONTI LA, & FURTADO VV. 2009. Topographic registers of paleo-valleys on the southeastern Brazilian continental shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(2): 113-121.

COSTA MH, BOTTA A & CARDILLE J. 2003. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, 283: 206–217.

D'AQUINO CA, FRANKLIN DA SILVA L, COUCEIRO MAA, PEREIRA MD & SCHETTINI CAF. 2011. Transporte de Sal e Hidrodinâmica do Estuário do Rio Tubarão — SC, Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 16(3): 113-125.

DAI A & TRENBERTH KE. 2002. Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *Journal of Hydrometeorology*, 3: 660-687.

DAI A, QIAN T, TRENBERTH KE & MILLIMAN J.D. 2009. Changes in Continental Freshwater Discharge from 1948 to 2004. *American Meteorological Society*, 22: 2773-2792.

DIAS AR. 2002. Salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e descarga fluvial do estuário da Lagoa dos Patos. 41 f. Monografia (Graduação em Oceanologia) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – DNMET. 1992. Normais Climatológicas Padrão 1961 – 1990. 84f. Brasília.

DOMINGUEZ JML. 2009. The coastal zone of Brazil, p. 17-52. In: DILLENBURG SF, HESP PA (Ed.). *Geology and Geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. New York: Springer-Verlag, 2009, 380p (Series Lectures Notes in Earth Sciences, 107, p. 15-17).

FEKETE BM, VÖRÖSMARTY CJ & GRABS W. 2000. Global composite runoff fields based on observed river discharge and simulated water balances. *Global Runoff Data Centre Rep. Germany*, 22(39): 1-109.

FERREIRA BCC. 2013. Estudo das inundações na bacia do rio Ribeira de Iguape e seus fatores hidroclimáticos e socioambientais. 91f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2013.

FIGUEIREDO FILHO D, NUNES F, ROCHA EC, SANTOS ML, BATISTA M. 2011. O que fazer e o que não fazer com a regressão: pressupostos e aplicações do modelo linear de mínimos quadrados ordinários (MQO). *Revista Política Hoje*, 20 (1): 44-99.

FROTA FF, PAIVA BP, SCHETTINI CA. 2013. Intra-tidal variation of stratification in a semi-arid estuary under the impact of flow regulation. *Brazilian Journal Of Oceanography*, 61(1): 23-33.

GENZ F. 2006. Avaliação dos efeitos da barragem de Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape. 266p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

GENZ F & LUZ LD. 2012. Distinguishing the effects of climate on discharge in a tropical river highly impacted by large dams. *Hydrological Sciences Journal*, 57(5): 1020-1034.

GRIMM AM, FERRAZ SET & GOMES J. 1998. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. *J. Climate*, 11: 2863–2880.

GRIMM A M, BARROS VR & DOYLE ME. 2000. Climate variability in Southern South America associated with “El Niño” and “La Niña” events. *J. Climate*, 13(1): 35-58.

HAIR JJ, ANDERSON R, TATHAM R, BLACK W et al. 2009. *Multivariate data analysis*. 17<sup>a</sup> Edição. Prentice-Hall.

HASSON A, DELCROIX T, BOUTIN J, DUSSIN R & BALLABRERA-POY J. 2014. Analyzing the 2010–2011 La Niña signature in the tropical Pacific sea surface salinity using in situ data, SMOS observations and a numerical simulation. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119: 3855–3867, doi:10.1002/2013JC009388.

HUANG B, & MEHTA VM. 2010. Influences of freshwater from major rivers on global ocean circulation and temperatures in the MIT ocean general circulation model. *Adv. Atmos. Sci.*, 27(3): 455–468.

ISLA FI & TOLDO JR EE. 2013. ENOS impacts on Atlantic watersheds of South America. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 04(1-2): 34-41.

JOHNS W, LEE TN, SCHOTT FA, ZANTOPP RJ & EVANS RH. 1990. The North Brazil Current retroflexion: seasonal structure and eddy variability. *Journal of Geophysical Research*, 95(C12): 22103-22120.

JUNIOR VH, CARDOSO JCL & NETO DG. 2013. Injuries by marine and freshwater stingrays: history, clinical aspects of envenomations and current status of a neglected problem in Brazil. *J. Venom. Anim. Toxins incl. Trop.*, 19: 1-11,.

KENNARD MJ, MACKAY SJ, PUSEY BJ, OLDEN JD & MARSH N. 2010. Quantifying uncertainty in estimation of hydrologic metrics for ecohydrological studies. *River Research and Applications*, 26:137–156.

KNOPPERS B, EKAU W & FIGUEIREDO A.G. 1999. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. *Geo-Marine Letters*, 19: 171-178.

KOURAFALOU VH, OEY L, WANG JD & LEE TN. 1996. The fate of river discharge on the continental shelf: 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current. *Journal of Geophysical Research* 101: doi: 10.1029/95JC03024. issn: 0148-0227.

LISTE M, GRIFOLL M, KEUPERS I, MONBALIU J & ESPINO M. 2012. Incorporation of continental and urban run-off into a coastal circulation model: application to the Catalan coast. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33): 40. doi:<http://dx.doi.org/10.9753/icce.v33.currents.40>

MARENGO JA, TOMASELLA J, UNO C. 1998. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research*, 103 (D2): 1775-1783.

MARQUES F. 2010. Variabilidade da precipitação na bacia hidrográfica do rio Tubarão/SC de 1946 a 2006. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MARTINS LR, COUTINHO PN. 1981. The Brazilian Continental Margin. *Earth-Sci. Rev.*, 17: 87-107.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2006a. Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2006b. Caderno da Região Hidrográfica do Atlântico Sul / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília.

MILLER JR, RUSSELL GL & CALIRI G. 2000. Continental-scale River Flow in Climate Models. *Journal of Climate*, 7: 914-929.

MIRANDA LB, CASTRO BM, KJERFVE B. 2002. Princípios de oceanografia Física de estuários. EDUSP. 411f.

MÖLLER OJ, CASTAING P, SALOMON JC & LAZURE P. 2001. The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, 24(2): 297-311.

MÖLLER OJ, PIOLA AR, FREITAS AC, CAMPOS EJD. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research*, 28: 1607– 1624.

MORRISON JP, FOREMAN MG & MASON D. 2012. A method for estimating monthly freshwater discharge affecting British Columbia coastal waters, *Atmosphere Ocean*, 50: 1–8.

MUEHE D. 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 1-11.

OKI T. 1999. The global water cycle. In: Browning K. e Gurney R., *Global Energy and Water Cycles*, Reino Unido: Cambridge University, 10-27.

PAULA FILHO FJ. 2014. Avaliação integrada da bacia de drenagem do rio Parnaíba através de fatores de emissão de cargas de nitrogênio e fósforo e índices de qualidade de águas. 192 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

PERRY G, DUFF PB & MILLER NL. 1996. An extended dataset of river discharges for validation of general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 101(16): 339-349.

PULLEN JD & ALLEN JS. 2000. Modeling studies of the coastal circulation off Northern California: shelf response to a major Eel river flood event. *Continental Shelf Research*, 20: 2213–2238.

ROMANOVA V, KÖHL A & STAMMER D. 2011. Seasonal cycle of near-surface freshwater budget in the western tropical Atlantic, *Journal of Geophysical Research*, 116, C07009, doi:10.1029/2010JC006650, 2011.

SANTOS ES. 2012. Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água em região de pororoca na foz do rio Araguari-AP. 113f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Fundação Universidade Federal do Amapá , Macapá, 2012.



- SILVA ACD, ARAUJO M & BOURLES B. 2005. Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do Amazonas e área oceânica adjacente. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(2), 145-157.
- SIMPSON JH, BROWN J, MATTHEWS J & ALLEN G. 1990. Tidal Straining, Density Currents, and Stirring in the Control of Estuarine Stratification. *Estuaries*, 13(2): 125-132.
- SOARES V, KOURAFALOU V & LEE TN. 2007. Circulation on the western South Atlantic continental shelf: 2. Spring and autumn realistic simulations. *Journal of Geophysical Research*, 112: C04003, doi:10.1029/2006JC003620.
- TESSLER M. & GOYA SC. 2005. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, 17: 11-23.
- TUCCI CEM. 2002. Regionalização de Vazões. Editora Universidade/UFRGS, 256f.
- UEHARA H, KIZU S, HANAWA K, YOSHIKAWA Y, ROEMMICH D. 2008. Estimation of heat and freshwater transports in the North Pacific using high-resolution expendable bathythermograph data. *Journal of Geophysical Research*, 113, C02014, doi:10.1029/2007JC004165.
- VAZ AC, MÖLLER, OJ & TABAJARA LA. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica (Rio grande)*, 28(1): 13-23.
- VILLARS MT & DELVIGNE GAL. Estuarine processes. Revisão de literatura. Rascunho final preparado por CEFIC. WL. Delft hydraulics Z2725. 10, 100f.
- VITAL H, GOMES MP, TABOSA WF, FRAZÃO EP, SANTOS CLA & PLÁCIDO JSJ. 2010. Characterization of the Brazilian continental shelf adjacent to Rio Grande do Norte state, NE Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1): 43-54. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592010000500005>.
- WANG Y, LIU Z, GAO H, JU X & GUO X. 2011. Response of salinity distribution around the Yellow River mouth to abrupt changes in river discharge. *Continental Shelf Research*, 31: 685–694.
- WARNER JC, GEYER WR & LERCZAK JA. 2005. Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment. *Journal of Geophysical Research*, 110, C0500.

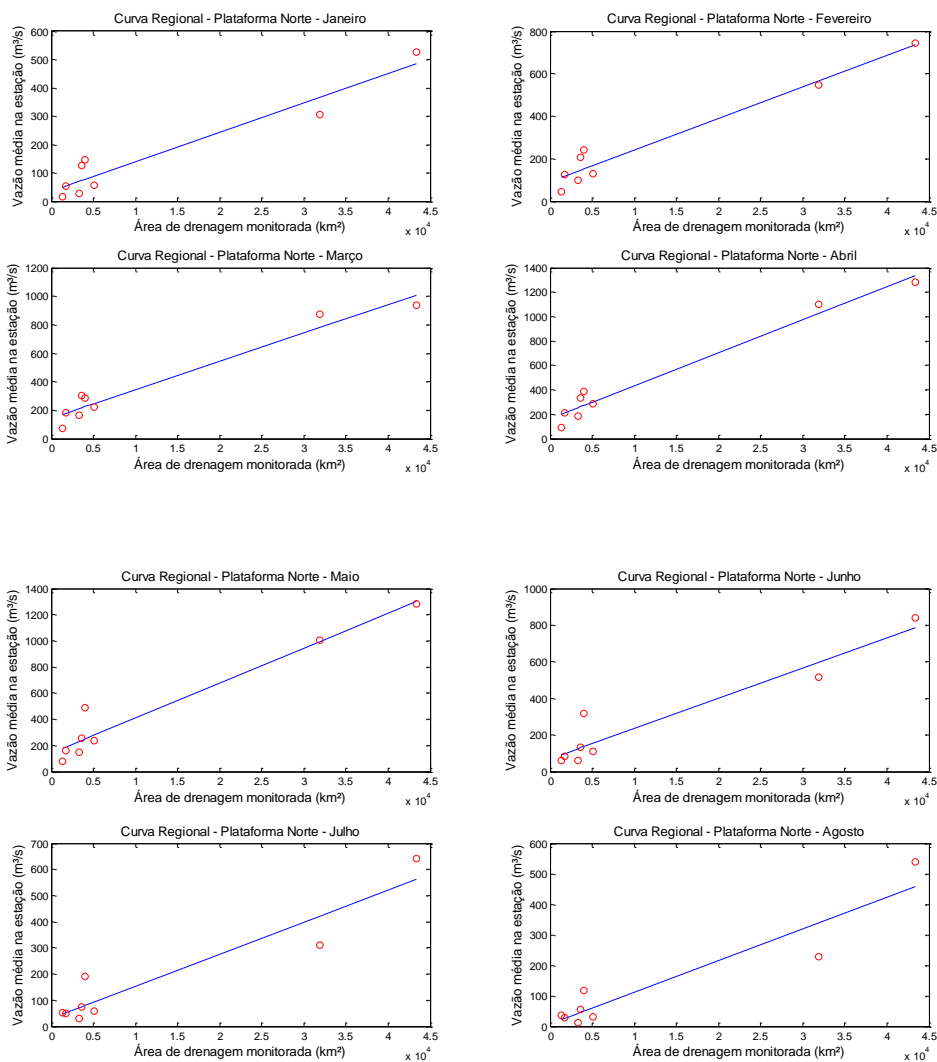
XAVIER RA, DORNELLAS PC, MACIEL JS & BÚ JC. 2012. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Paraíba – PB. Rev. Tamoios, 2: 15-28.

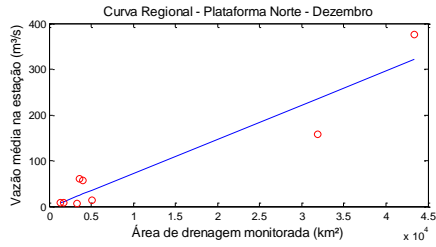
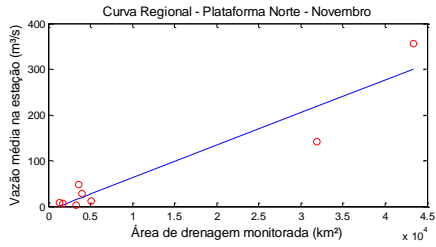
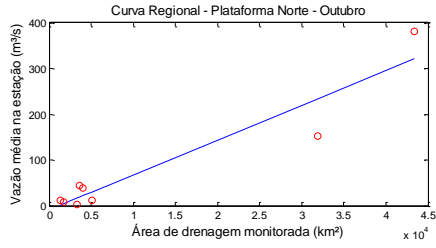
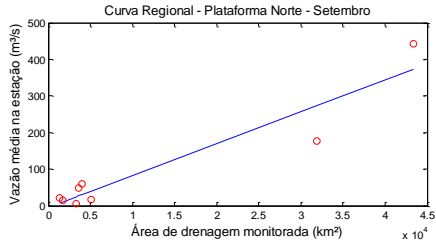
ZENG N. 1999. Seasonal cycle and interannual variability in the Amazon hydrologic cycle. Journal of Geophysical Research, 104(D8): 9097-9106.

## 7 ANEXOS

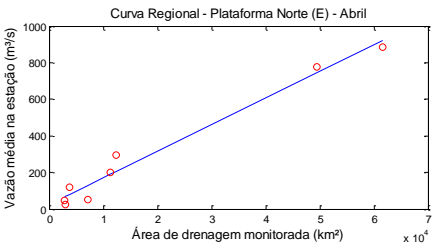
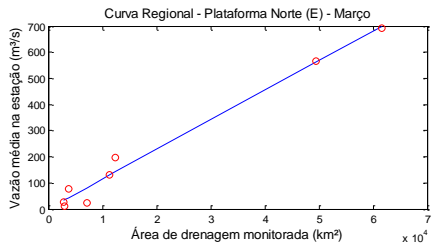
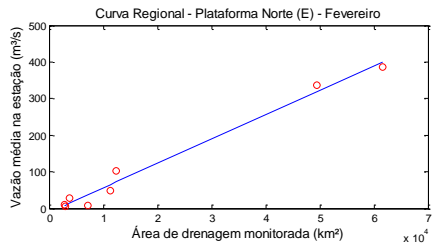
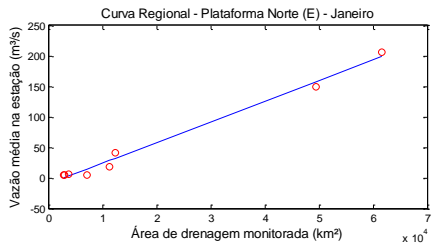
### 7.1 ANEXO 1 – Curvas regionais

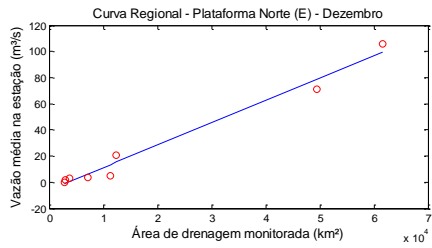
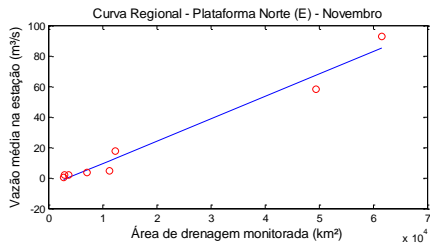
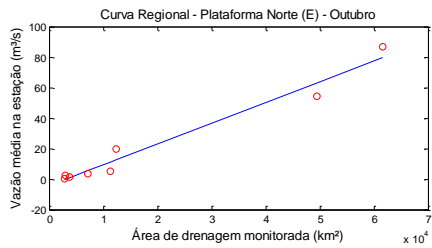
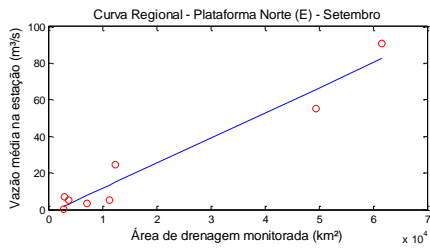
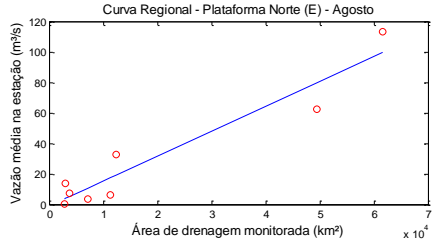
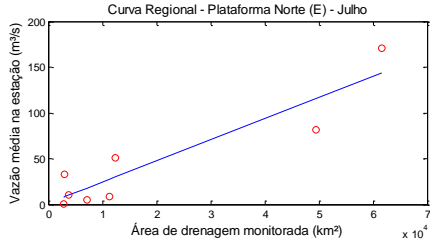
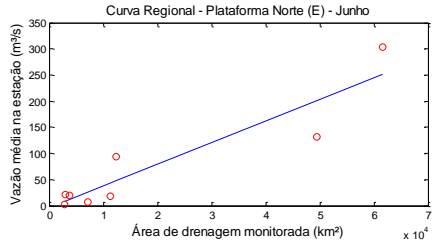
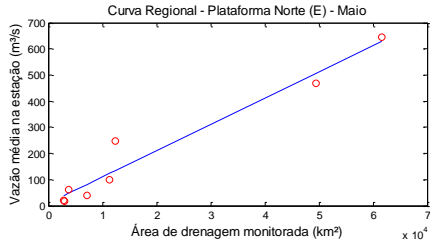
#### Plataforma Norte – divisão Oeste



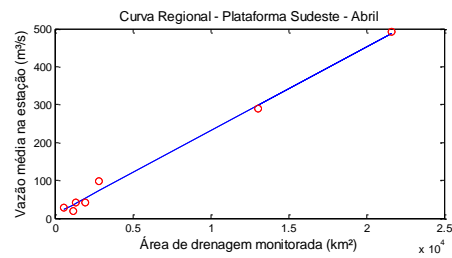
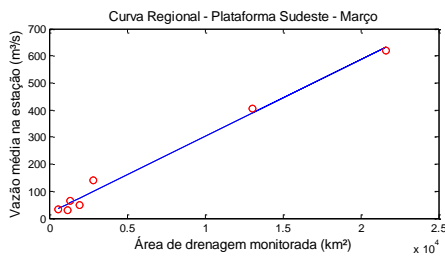
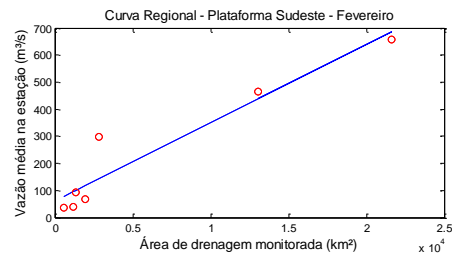
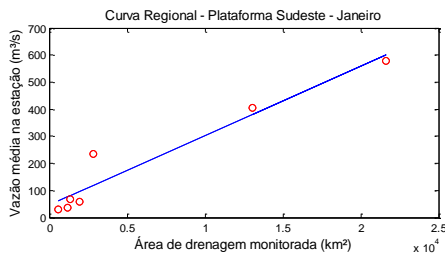


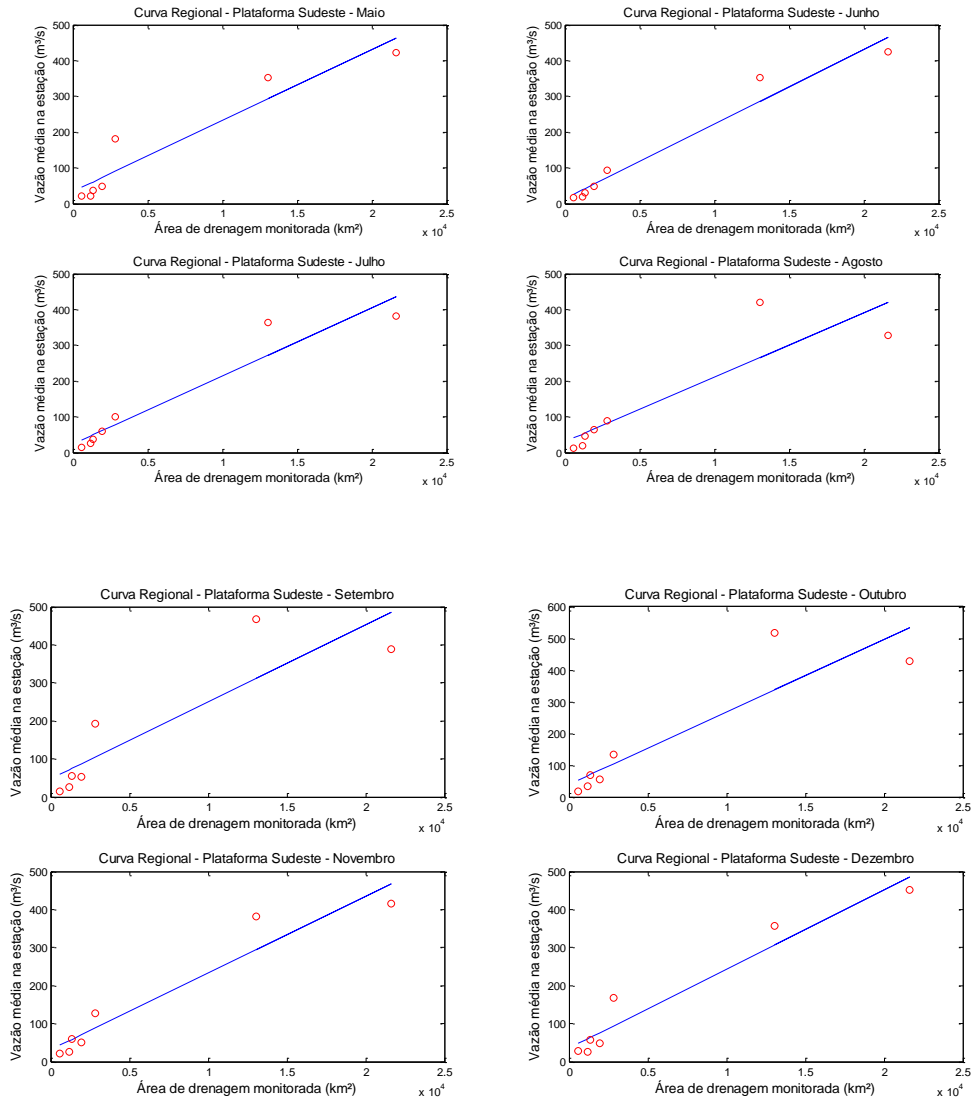
### Plataforma Norte – divisão Leste





## Plataforma Sudeste





## 7.2 ANEXO 2 – INCREMENTOS DE VAZÃO

### Plataforma Norte – Divisão Oeste

Incremento de vazão (%)											
	Caeté	Piriá	Maracaçume	Moju	Caciporé	Turiaçu	Gurupi	Capim	Araguari	Tocantins	Amazonas
<b>Incremento de área (%)</b>	36.15	68.22	51.64	87.72	29.44	62.16	9.53	13.53	19.58	5.65	17.82
<b>Janeiro</b>	21.99	19.56	78.99	93.81	4.72	71.02	1.18	2.05	Método de proporção entre áreas		
<b>Fevereiro</b>	12.44	18.31	59.00	93.00	4.14	60.66	0.95	2.07			
<b>Março</b>	10.33	24.23	50.75	92.40	4.68	55.18	0.80	2.21			
<b>Abril</b>	11.50	26.52	55.92	93.69	4.63	56.32	0.86	2.19			
<b>Mai</b>	12.11	35.83	59.73	95.07	3.69	60.85	0.93	2.16			
<b>Junho</b>	10.10	33.43	71.08	95.78	3.52	66.88	1.12	2.04			
<b>Julho</b>	9.14	36.39	79.81	96.82	4.31	74.48	1.37	1.99			
<b>Agosto</b>	10.77	46.65	88.57	97.24	5.82	81.88	1.58	2.01			
<b>Setembro</b>	14.36	62.00	92.76	97.12	9.08	87.31	1.71	2.04			
<b>Outubro</b>	21.02	75.96	95.33	96.96	12.32	89.53	1.74	2.08			
<b>Novembro</b>	26.35	80.28	95.77	96.56	15.26	89.60	1.75	2.08			
<b>Dezembro</b>	28.48	74.38	91.81	95.75	8.46	88.03	1.63	2.06			

### Plataforma Norte – Divisão Leste

Incremento de vazão (%)										
	Aracatiaçu	Maman-guape	Coreau	Curu	Acarau	Munim	Itapecuru	Mearim	Parnaíba	
<b>Incremento de área (%)</b>	13.68	7.72	19.29	17.19	21.66	21.04	7.94	37.05	3.40	
<b>Janeiro</b>	4.97	1.59	10.81	20.06	71.41	6.69	0.83	68.25	Método de proporção entre áreas	
<b>Fevereiro</b>	4.67	2.91	4.69	21.68	46.49	5.44	0.72	74.32		
<b>Março</b>	2.74	2.02	3.00	12.93	45.16	4.82	0.73	78.12		
<b>Abril</b>	2.22	1.19	2.49	7.84	43.48	4.18	0.68	77.04		
<b>Mai</b>	3.22	1.21	3.31	7.26	42.64	3.47	0.78	78.36		
<b>Junho</b>	10.35	0.39	4.25	14.36	10.19	3.74	1.14	78.00		
<b>Julho</b>	16.59	0.14	4.56	11.58	6.81	3.87	1.03	72.97		
<b>Agosto</b>	27.66	0.24	4.67	12.21	6.08	4.22	0.95	64.47		
<b>Setembro</b>	47.28	0.40	5.36	10.90	17.08	4.73	0.90	57.21		
<b>Outubro</b>	84.25	1.21	15.81	10.66	75.14	5.77	0.91	55.10		
<b>Novembro</b>	85.25	1.73	14.30	11.21	68.28	6.93	0.92	55.56		
<b>Dezembro</b>	96.32	2.30	9.93	12.08	49.07	6.88	0.88	56.62		

### 7.3 ANEXO 3 – Vazão na foz (m³/s)

#### Plataforma Sudeste

**Vazão média na foz (m³/s)**

<b>Meses</b>	<b>Ribeira do</b>						
	<b>Mambucaba</b>	<b>Itapocu</b>	<b>Araranguá</b>	<b>Tijucas</b>	<b>Tubarão</b>	<b>Iguape</b>	<b>Itajaí-Açu</b>
Janeiro	31.84	125.62	92.12	63.08	273.49	620.89	434.93
Fevereiro	36.18	138.41	118.14	72.50	342.05	705.89	498.52
Março	33.03	126.73	90.96	51.72	183.62	665.24	436.53
Abril	27.99	95.45	62.17	44.75	130.66	528.54	313.53
Maiο	20.89	90.32	54.77	50.92	210.50	455.44	373.42
Junho	17.64	90.81	49.02	51.34	125.23	457.74	375.84
Julho	15.36	91.00	54.70	62.44	128.27	412.07	384.11
Agosto	13.13	80.17	62.03	66.28	116.10	357.89	440.53
Setembro	15.06	95.15	72.23	55.13	223.32	420.72	490.30
Outubro	16.53	111.61	89.24	59.03	168.10	466.04	542.00
Novembro	20.59	95.71	76.80	52.78	157.16	448.09	403.05
Dezembro	27.54	96.60	74.95	51.84	199.92	485.67	380.54
<b>Média</b>	22.98	103.13	74.76	56.82	188.20	502.02	422.77

## Plataforma Nordeste

### Vazão média na foz (m³/s)

Meses	Sirinhaem	Mamanguape	Mundaú	Una	Pojuca	Capibaribe	Curu	Paraíba	Itapicuru	Piranhas-		São
										Açu	Jaguaribe	Francisco
Janeiro	24.01	4.68	16.52	24.97	22.00	1.99	4.98	1.81	42.87	16.36	65.83	3212.30
Fevereiro	26.57	4.97	19.34	29.57	19.53	9.51	8.90	17.09	54.53	79.90	161.17	3922.30
Março	26.42	12.29	23.73	36.59	20.11	6.07	28.17	54.50	48.06	143.05	360.01	3880.40
Abril	35.44	26.98	34.81	49.09	29.33	12.42	63.20	105.42	42.55	385.85	584.27	3362.40
Maiο	53.02	18.20	48.63	61.96	48.07	13.86	47.24	52.29	55.72	329.40	367.95	2623.80
Junho	79.99	23.87	73.89	99.43	45.08	35.69	9.10	26.61	48.23	94.61	62.10	2205.70
Julho	89.05	35.77	90.92	117.93	44.17	32.43	6.50	41.92	40.44	17.80	29.38	2142.70
Agosto	70.55	14.85	66.66	89.72	34.57	12.85	4.33	18.07	31.55	12.89	19.86	2149.80
Setembro	53.94	7.70	42.65	57.25	27.34	6.52	4.14	6.86	23.26	13.16	19.43	2214.90
Outubro	34.82	2.49	23.75	34.63	23.96	2.49	4.21	2.64	16.91	13.27	19.78	2294.90
Novembro	27.12	1.85	17.31	26.24	22.49	1.82	4.28	1.51	18.79	13.64	20.00	2420.60
Dezembro	20.86	1.63	15.07	22.41	26.73	1.70	4.60	1.39	51.12	14.16	22.93	2658.20
<b>Média</b>	45.15	12.94	39.44	54.15	30.28	11.45	15.80	27.51	39.50	94.51	144.39	2757.33



## Plataforma Norte

Meses	Vazão média na foz (m³/s)																	
	Caete	Piriá	Araca- tiaçu	Maraca- çume	Moju	Coreau	Cacipore	Turiaçu	Acarau	Munim	Araguari	Gurupi	Capim	Itape- curu	Mearim	Parnaíba	Tocantins	Amazonas
Janeiro	19.86	67.24	4.79	134.44	2039.90	6.65	153.50	199.11	20.76	44.75	722.00	309.80	536.40	150.29	278.80	891.00	14632.00	170620.00
Fevereiro	50.20	154.69	10.04	241.28	2942.60	30.20	250.45	333.38	53.80	108.37	1196.50	551.60	761.20	339.88	528.00	1287.60	22047.00	196670.00
Março	81.18	240.72	29.09	336.71	3977.10	80.24	297.11	492.15	141.93	207.53	1728.90	879.40	958.10	570.77	932.80	1670.10	27056.00	226180.00
Abril	99.02	287.02	46.10	420.47	5327.20	124.38	408.20	654.88	214.58	307.94	2192.00	1106.70	1309.80	782.77	1197.30	2143.20	26551.00	259560.00
Mai	92.99	248.05	21.86	366.35	5189.90	64.27	506.58	599.12	108.34	255.08	2384.30	1017.20	1311.90	471.38	860.10	1261.10	17010.00	282480.00
Junho	68.92	122.86	2.81	209.90	3185.40	20.66	328.10	337.09	22.02	97.75	1876.50	522.90	859.30	133.40	392.30	567.80	7683.00	283090.00
Julho	56.62	75.08	0.98	143.00	2342.50	10.73	199.14	225.04	10.98	52.65	1351.90	316.50	654.90	82.14	220.20	408.60	4954.00	264610.00
Agosto	40.57	51.32	0.41	107.77	1968.80	7.42	124.47	172.79	7.53	34.14	931.30	231.50	549.10	63.26	147.90	370.00	4190.00	227500.00
Setembro	25.49	38.59	0.20	81.98	1650.60	5.43	66.87	135.68	6.20	25.60	531.70	179.70	451.60	55.78	120.00	370.30	4188.00	178070.00
Outubro	15.27	31.76	0.11	66.67	1449.90	1.83	43.21	116.04	6.19	20.85	320.40	154.80	389.40	54.82	115.90	388.90	4308.00	134930.00
Novembro	11.41	29.43	0.12	61.14	1364.70	2.17	32.71	108.67	5.87	18.66	220.10	143.80	363.90	58.49	123.80	438.80	4875.00	126350.00
Dezembro	11.01	33.42	0.13	66.26	1435.10	3.66	61.51	115.34	6.48	22.00	295.30	161.10	383.90	71.89	142.60	623.50	7479.00	142760.00
<b>Média</b>	47.71	115.01	9.72	186.33	2739.48	29.80	205.99	290.77	50.39	99.61	1145.91	464.58	710.79	236.24	421.64	868.41	12081.08	207735.00