UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Presidente Prudente

OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES NO BAIXO CURSO DO RIO TIBAGI, MUNICÍPIO DE JATAIZINHO – PR: VARIÁVEIS DETERMINANTES.

RODRIGO VITOR BARBOSA SOUSA

PRESIDENTE PRUDENTE
2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Campus de Presidente Prudente

OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES NO BAIXO CURSO DO RIO TIBAGI, MUNICÍPIO DE JATAIZINHO – PR: VARIÁVEIS DETERMINANTES.

Rodrigo Vitor Barbosa Sousa

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Campus de Presidente Prudente, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico. Linha de Pesquisa: Dinâmicas da Natureza.

Presidente Prudente
2017

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Presidente Prudente

S698o

Sousa, Rodrigo Vitor Barbosa.
Ocorrências de inundações no baixo curso do Rio Tibagi, município de Jataizinho – PR : variáveis determinantes / Rodrigo Vitor Barbosa Sousa. – Presidente Prudente, 2017.
449 f. : il.

Orientador: Paulo Cesar Rocha.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2017.
Inclui bibliografia

1. Inundação. 2. Barragem. 3. Tibagi, Rio (PR). 4. Geotecnologia. 5. Mapeamento geomorfológico. I. Rocha, Paulo Cesar. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

Claudia Adriana Spindola
CRB-8ª/5790

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES NO BAIXO CURSO NO RIO TIBAGI, MUNICÍPIO DE JATAIZINHO-PR: VARIÁVEIS DETERMINANTES

AUTOR: RODRIGO VITOR BARBOSA SOUSA
ORIENTADOR: PAULO CESAR ROCHA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em GEOGRAFIA, área: PRODUÇÃO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP

Prof. Dr. MARCELO DE OLIVEIRA LATUF
Instituto de Ciências da Natureza / UNIFAL/Alfenas (MG)

Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - FCT/UNESP

Profa. Dra. ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA
Departamento de Geografia / FCT/UNESP/Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ PINTO
Departamento de Ciências Humanas / UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

Presidente Prudente, 21 de novembro de 2017

A todas as professoras e professores do Brasil, dedico.

AGRADECIMENTOS

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Campus de Presidente Prudente, por ter aberto as portas desta instituição para mim, permitindo que eu estudasse em um dos melhores programas de pós-graduação do Brasil.

Aos meus pais, Antonio e Célia, pelo apoio, pelo incentivo e pelas conversas. As palavras de vocês sempre me deram ânimo e energia para seguir em frente.

À minha irmã Karina, pelo apoio, pela ajuda, pelo incentivo e pelas conversas, principalmente, no início do doutorado. Ao meu irmão Rafael, pelo apoio e pelas conversas.

Ao Tião e à Maria, pelo apoio e pela ajuda quando cheguei a Prudente. Sem vocês, talvez fosse impossível eu concretizar esta importante etapa da minha vida.

Ao Paulo (PC), pela amizade, por acreditar no projeto que foi desenvolvido, pelas correções e sugestões, pela paciência e pela orientação.

Aos amigos e amigas que fiz, na FCT/UNESP, em primeiro lugar a uma pessoa muito especial, à Pri (Priscila), sobre quem palavras não conseguem expressar toda a minha gratidão e toda a minha consideração. Obrigado por todo apoio, por toda ajuda e por todo incentivo! Ao Josué (sujeito do mundo), ao Afonso e ao Andrés (Aguila Roja), pelas inúmeras conversas que muito me ajudaram. À Lari e à Liri pelos convites para os incontáveis almoços, cafés e confraternizações. Ao Paulo Roberto, ao Carlos Eduardo, ao Aurélio, ao Chico, ao Tássio (Baiano), à Taíssa, à Carla, à Renatinha, à Renata (Her), ao Bruno, à Janaína, ao Flávio (escorpião), ao Cássio, ao Paçoca, à Flaviane, ao Baltazar e à Carla, ao trio Robinzon-Yolima-Malena, à Ana Paula e ao Rafael, pela amizade e pela boa companhia durante as confraternizações e churrascos. Novamente ao Flávio (escorpião) e ao Carlão pelo tempo de convívio na mesma casa.

À Le (Letícia), pelo apoio e pela ajuda durante a reta final da tese, pelas conversas e reflexões que tem proporcionado, pelo incentivo, pelos lembretes, pelo carinho e pelo companheirismo.

A toda equipe da secretaria de pós-graduação, Cinthia, Aline e os demais, pela eficiência e pela paciência.

Aos funcionários(as) que trabalham na FCT/UNESP, responsáveis pelo funcionamento, limpeza e zelo desta instituição.

À Fernanda Rotta, pelas ótimas aulas de inglês, pelo incentivo e pelas inúmeras correções de projetos, abstracts e papers. Novamente à Lari por também ter ajudado com essas tarefas.

À Gabriela Ismerim, pela correção gramatical.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos em nível de Doutorado, totalizando um aporte financeiro de setenta e sete mil reais (R$ 77.000). Sem esta bolsa de estudos, o desenvolvimento deste projeto certamente seria mais árduo.

Ao Prof. Dr. Mauro Issamu Ishikawa, professor do Departamento de Cartografia, e ao Nemer, técnico do Laboratório de Astronomia, Topografia e Geodésia – LATOGEO, ambos vinculados à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Campus de Presidente Prudente, pela disponibilidade dos equipamentos topográficos e geodésicos.

Ao Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes, professor do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina – UEL, pela disponibilidade dos equipamentos topográficos e geodésicos.

Ao amigo Jakison Xavier de Almeida, Eng. Cartógrafo pela FCT/ UNESP, novamente ao amigo Paulo Roberto, mestre em Geografia pela FCT/ UNESP/, ao Paulo Ricardo Praxedes, graduando em Geografia pela FCT/UNESP, à Prof.ª Dra. Fernanda Leite Ribeiro, professora do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina – UEL, ao Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes, professor do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina – UEL, ao William Piva, geógrafo pela Universidade Estadual de Londrina – UEL, pelo

apoio dado durante a obtenção das coordenadas geodésicas por meio de técnicas *GNSS*, pelo pós-processamento destes dados e pelo levantamento topográfico em campo.

Ao Prof. Dr. Júlio Kiyoshi Hasegawa, professor do Departamento de Cartografia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Campus de Presidente Prudente, pelo ajuste do modelo estereoscópico digital.

Ao amigo Prof. Dr. Glauber Renato Colnago, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, Campus Cubatão, pelo apoio durante os testes de regressão linear múltipla.

À Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica, da Agência Nacional de Águas – SGRH/ANA, pela disponibilidade de parte dos dados hidrológicos.

Ao Centro de Documentação e Pesquisa Histórica – CDPH, da Universidade Estadual de Londrina – UEL, por viabilizar a consulta de matérias de jornais sobre a ocorrência de inundações na área de estudo.

À biblioteca pública da cidade de Londrina – PR, por viabilizar a consulta de matérias de jornais sobre a ocorrência de inundações na área de estudo.

Ao Centro de Hidrografia da Marinha, pelo envio das cartas sinóticas do Brasil ao nível do mar.

Aos amigos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, Campus Cubatão, a saber: ao Júlio, ao Miyahiro, ao Leandro, ao Marciel, ao Ricardo, ao Vitão, à Rosa, ao Jairo, ao Barral, à Adriana, ao Rafael, à Ludmila, ao Glauber, à Letícia, à Elaine, entre tantos outros professores(as) e técnicos(as) pela compreensão e pelo apoio.

Registram-se aqui, meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa. **Ocorrências de inundações no baixo curso do Rio Tibagi, município de Jataizinho – PR: Variáveis determinantes.** 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente. 2017.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi investigar as variáveis determinantes para as inundações no baixo curso do Rio Tibagi, especificamente, na cidade de Jataizinho – PR. Entre as variáveis investigadas, procurou-se analisar se o controle hidrológico da Usina Hidrelétrica de Capivara – UHE Capivara –, no médio curso do Rio Paranapanema, influencia a ocorrência de inundações na cidade de Jataizinho. É importante destacar que o processo de remanso ocasionado pela construção da UHE Capivara originou a Represa de Capivara, a qual abrange não apenas trecho do Rio Paranapanema, mas também trechos de outros rios, como a Foz do Rio Pirapó e a Foz do Rio Tibagi, ambos tributários da margem esquerda do Rio Paranapanema. Assim, tem-se como objetivos específicos: a) avaliar o regime hidrológico e o período hidrológico do Rio Tibagi e do Rio Paranapanema; b) elaborar um modelo de relacionamento hidrométrico entre dados de estações de monitoramento do Rio Tibagi e do reservatório da UHE Capivara; c) elaborar um mapeamento geomorfológico, a fim de identificar as formas de relevo agradacionais e denudacionais do sítio urbano de Jataizinho; d) espacializar as áreas inundáveis no sítio urbano de Jataizinho. A metodologia baseou-se: a) no uso de geotecnologias, para o detalhamento topográfico do relevo e para a identificação das áreas sujeitas à inundação; b) no uso de técnicas estatísticas para a análise dos dados hidrológicos e para o relacionamento hidrométrico; c) na análise de matérias de jornais e registros da Defesa Civil sobre a ocorrência de inundações em Jataizinho. Os resultados apontam para a existência de dois períodos hidrológicos em ambos os rios, um período pré-barragem e outro período pós-barragem. Assim, as inundações na cidade de Jataizinho concentram-se, principalmente, no período pós-barragem, de modo que neste observa-se maior frequência de fases negativas de IOS, isto é, episódios de *El Niño.* Os testes de regressão múltipla indicam que a principal variável para o transbordamento do Rio Tibagi, na cidade de Jataizinho, é a precipitação. Todavia, a análise dos hidrogramas de inundação aponta anomalia para um dos quatorze hidrogramas analisados, especificamente, o hidrograma com a data de vazão de pico em 23/01/1997, indicando, assim, haver influência do regime de operação da UHE Capivara para a ocorrência do transbordamento do Rio Tibagi, em Jataizinho, de modo pontual. Nesse sentido, pode-se afirmar que a maioria das inundações do Rio Tibagi, na cidade de Jataizinho, é de ordem natural. Destaca-se, entretanto, que algumas inundações não são decorrentes do Rio Tibagi, mas, sim, de canais fluviais que passam dentro da área urbana, como o Ribeirão Jataizinho e o Ribeirão Coqueiro. A integração entre o mapeamento geomorfológico e a espacialização das áreas inundáveis, na cidade de Jataizinho, aponta que parte significativa das formas de relevo que são encobertas pelo transbordamento do Rio Tibagi e de seus tributários é ocupada por moradores da cidade.

Palavras-chave: Inundação. Barragem. Rio Tibagi. Geotecnologia. Mapeamento geomorfológico.

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa. **Flood occurrences in the lower course of the Tibagi River, city of Jataizinho, Paraná state, Brazil: Determinant variables**. 2017. 403 f. (PhD's Degree Thesis) – São Paulo State University (UNESP), School of Science and Technology, Presidente Prudente city, Brazil.

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate the determinant variables to the floods in the low course of the Tibagi River, especially in the city of Jataizinho. Among the variables investigated, it was sought to analyze if the hydrological control of the Capivara Hydroelectric, located in the medium course of the Paranapanema River, influences the floods in the low course of the Tibagi River, especially in the city of Jataizinho. It is noteworthy that the backwater process caused by the building of the Capivara Hydroelectrical Power Plant originated the Capivara reservoir, which includes not only parts of the Paranapanema River, but also parts of other rivers such as the Pirapo River mouth and the Tibagi River mouth, both tributaries of the left bank of the Paranapanema River. In this sense, the specific aims are: a) To evaluate the hydrological regimes and the hydrological periods of the Paranapanema and Tibagi rivers, b) To elaborate a hydrometric relation model with hydrological data of the River Tibagi and of the Capivara reservoir, c) To elaborate a geomorphological mapping of the Jataizinho city to identify the aggradational and denudational landforms, d) To elaborate a Tibagi River overflow mapping at Jataizinho city. The methodology was based in: a) Relief topographic detailing and identification of areas subject to flooding in the city of Jataizinho through geotechnologies such as GNSS and GIS, b) Analysis of hydrological data, and of hydrometric relationship through descriptive statistics and multiple linear regressions, c) Investigation about flooding in the city of Jataizinho in newspapers and civil defense registers. The results point to the existence of two hydrological periods in both rivers, one pre-dam period and another post-dam period. Thus, the floods in the city of Jataizinho are concentrated mainly in the post-dam period, in a way in which it is observed a greater frequency of negative phases of SOI, that is, *El Niño* events. The tests of multiple linear regressions point out that the main variable to the occurrence of Tibagi River overflow in the city of Jataizinho is the precipitation. However, comparing the fourteen flooding hydrograms, it is observed that one of them shows anomaly, specifically the hydrogram 3, in which there is a peak discharge on 23/01/1997. Thus, this anomaly points out that the Capivara hydroelectric operation regime influences punctually on the Tibagi River overflow in the city of Jataizinho. In this sense, it is possible to say that the floodings of the Tibagi River in the city of Jataizinho are mainly of natural order. Nevertheless, it is noteworthy that some floodings are not of the Tibagi River, but rather to some urban rivers such as, Jataizinho River and Coqueiro River. The integration between the geomorphological mapping and the spatialization of the floodplain areas, in the city of Jataizinho, indicates that a significant part of the relief forms that are covered up by the overflowing of the Tibagi River and its tributaries is occupied by residents of this city.

Keywords: Flood. Dam. Tibagi River. Geotechnology. Geomorphologycal mapping.

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa. **Ocurrencias de inundaciones en el curso bajo del río Tibagi, município de Jataizinho – PR: variables determinantes.** 2017. Tesis (Doctorado en Geografía) - Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente. 2017.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue investigar las variables determinantes para las inundaciones en el curso bajo del río Tibagi, especfíficamente, en la ciudad de *Jataizinho*, Estado de Paraná. Entre las variables investigadas se buscó analizar si el control hidrológico de la Hidroeléctrica de Capivara - UHE Capivara -, con presencia en el curso medio del Río Paranapanema, influye en la ocurrencia de inundaciones en la ciudad de *Jataizinho*. Es importante destacar que el remanso hidráulico, generado por la construcción de la PHC, originó la represa de *Capivara*, la cual abarca, no solo el tramo del rio *Paranapanema*, sino también, tramos de otros ríos que comprenden las desembocaduras de los ríos *Pirapó* y *Tibagi*, ambos tributarios de la margen izquierda del río *Paranapanema*. De este modo, los objetivos específicos planteados para la investigación fueron: a) evaluar el régimen hidrológico y el periodo hidrológico del rio *Tibagi* y del río *Paranapanema*; b) elaborar un modelo de correlación hidrométrica entre los datos de las estaciones de monitoreo del río *Tibagi* y del reservorio de la PHC; c) elaborar la cartografía geomorfológica respectiva con el fin de identificar las formas del relevo originadas por procesos de agregación y de desagregación, propios del contexto urbano de *Jataizinho* e; d) demarcar, en el contexto urbano de *Jataizinho*, las áreas inundables. La metodología consistió en: a) el uso de geotecnologías para la elaboración de mapas detallados de la topografía y las formas de relevo y para la identificación de las áreas de inundación; b) el uso de técnicas estadísticas para el análisis de los datos hidrológicos y para identificar las correlaciones hidrométricas; c) recopilación y análisis de los registros periodísticos y de órganos como la defensa civil, en los que relatan los episodios de las inundaciones en *Jataizinho.* Los resultados apuntan a la existencia y diferenciación de dos periodos hidrológicos en ambos ríos, uno anterior a la construcción de la represa y otro posterior. De esta manera, las inundaciones en la ciudad de *Jataizinho* se concentran, principalmente, en el periodo posterior a la construcción de la represa de la PHC, observándose, en este periodo, mayor frecuencia de las fases negativas de IOS, es decir, episodios de El Niño. Las pruebas de regresión múltiple indican que la principal variable para el desbordamiento del río *Tibagi,* en la ciudad de *Jataizinho*, es la precipitación. Entretanto, el análisis de los hidrogramas de inundación apuntan a una anomalía de uno de los catorce hidrográmas analizados, específicamente, el hidrográma de caudal pico registrado el 23/01/1997, indicando así la influencia que ejerce el régimen de operación de la PHC sobre los desbordamientos del rio *Tibagi* en *Jataizinho* e, indicando a su vez, una influencia puntual. En este sentido, se puede afirmar que la mayoría de las inundaciones del río *Tibagi*, en la ciudad de *Jataizinho*, son de orden natural. Se destaca que algunas de las inundaciones no son procedentes del río *Tibagi,* algunas de estas se originan por el desborde de los canales fluviales que recorren el área urbana y entre los que se encuentran: la quebrada del *Jataizinho* y la quebrada del *Coqueiro*. La integración entre la cartografía geomorfológica y la demarcación de las áreas inundables, en la ciudad de *Jataizinho*, permite afirmar que una parte significativa de estas áreas, eventualmente cubiertas por las inundaciones del rio *Tibagi* y sus tributarios, es ocupada por los residentes de la ciudad.

Palabras clave: Inundación. Represa. Río Tibagi. Geotecnología. Cartografía Geomorfológica.

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa. **La récurrence des inondations au niveau du cours inférieur de la rivière Tibagi (PR), commune de Jataizinho: variables déterminantes.** 2017. Thèse (Doctorat en Géographie) - Université de l'État Paulista, "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculté des Sciences et de la Technologie - FCT, Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente. 2017.

RÉSUMÉ

Le but de cette recherche fut d'étudier les variables déterminantes pour les inondations dans le cours inférieur de la rivière Tibagi, en particulier dans la ville de Jataizinho - PR. Parmi les variables étudiées, on chercha à analyser si le contrôle hydrologique de la Centrale Hydroélectrique de Capivara – UHE Capivara -, dans le cours moyen de la rivière Paranapanema, influence l'occurrence des inondations dans la ville de Jataizinho. Il est important de souligner que le processus d'arrêt causé par la construction de la Centrale Hydroélectrique de Capivara origina le Barrage de Capivara, qui couvre non seulement la rivière Paranapanema, mais aussi des parties d'autres rivières, comme les bouches des rivières Pirapó et Tibagi, toutes deux affluents de rive gauche de la rivière Paranapanema. Ainsi, on y trouve des objectifs spécifiques: a) évaluer le régime hydrologique et la période hydrologique de la rivière Tibagi et de la rivière Paranapanema; b) élaborer un modèle de relation hydrométrique entre les données des stations de surveillance de la rivière Tibagi et le réservoir de la Centrale Hydroélectrique de Capivara , c) élaborer une cartographie géomorphologique afin d'identifier les formes de relief d'aggradation et de régradation du site urbain de Jataizinho, et d) spatialiser les zones inondables dans le site urbain de Jataizinho. La méthodologie reposa sur: a) l'utilisation des géotechnologies, pour la description topographique du relief et pour l'identification des zones sujettes aux inondations, b) l'utilisation de la statistique pour l'analyse des données hydrologiques et pour la relation hydrométrique, et c) l'analyse des articles de journaux et dossiers de la Défense Civile sur la récurrence des inondations à Jataizinho. Les résultats indiquent l'existence de deux périodes hydrologiques dans les deux rivières: une période pré-barrage et une autre période post-barrage. Ainsi, les inondations dans la ville de Jataizinho se concentrent principalement dans la période post-barrage, de sorte que l'on observe une plus grande fréquence de phases négatives de l'IOS, c'est-à-dire les épisodes d'El Niño. Les tests de régression multiples indiquent que la principale cause de débordement de la rivière Tibagi, dans la ville de Jataizinho, sont les précipitations. Cependant, l'analyse des hydrogrammes des inondations indique une anomalie pour l'un des quatorze hydrogrammes analysés, soit l'hydrogramme avec la date du débit maximal le 23/01/1997, preuve de l'influence du régime d'exploitation de la Centrale Hydroélectrique de Capivara quant aux fréquents débordement de la rivière Tibagi à Jataizinho, donc une influence de manière ponctuelle. Dans ce cas, on peut affirmer que la plupart des inondations de la rivière Tibagi, dans la ville de Jataizinho, sont d'ordre naturel. Néanmoins il convient de noter que certaines inondations ne sont pas dues à la rivière Tibagi, mais plutôt aux voies fluviales qui traversent la zone urbaine, comme Ribeirão Jataizinho et Ribeirão Coqueiro. La relation entre la cartographie géomorphologique et la spatialisation des zones inondables dans la ville de Jataizinho indique qu'une partie importante des formes de relief couvertes par le débordement de la rivière Tibagi et ses affluents est occupée par les habitants de la ville.

Mots-clés: Inondation. Barrage. Rivière Tibagi. Géotechnologie. Cartographie géomorphologique.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização da área de estudo. 24
Figura 2. Formas do Rio Paranapanema e Rio Tibagi, anterior à construção da UHE Capivara. 25
Figura 3. Transformações nos vales de drenagem do Rio Paranapanema e Rio Tibagi, posterior à construção da UHE – Capivara. 26
Figura 4. Imagem ilustrando os municípios adjacentes ao Rio Tibagi atingidos pelo reservatório de Capivara e o limite máximo aproximado do remanso. 28
Figura 5. Comportamento do *El Niño* no trimestre de verão. 70
Figura 6. Comportamento do *El Niño* no trimestre de inverno.....70
Figura 7. Comportamento da *La Niña* no trimestre de verão.....71
Figura 8. Comportamento da *La Niña* no trimestre de inverno. 71
Figura 9. Localização das estações fluviométricas selecionadas na área de estudo. 100
Figura 10. Localização das UHEs e PCHs em operação ou com estudo para futura instalação, no Rio Paranapanema e no Rio Tibagi. 103
Figura 11. Lances de régua da estação fluviométrica Jataizinho 64507000. Margem esquerda do Rio Tibagi. 118
Figura 12. Referência de nível 1 – RN1, da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Margem esquerda do Rio Tibagi. 119
Figura 13. Receptor geodésico – base, utilizado para a coleta das coordenadas geodésicas dos lances de régua e RNs da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Margem esquerda do Rio Tibagi. 119
Figura 14. Lances de régua da estação fluviométrica Canal de Fuga Jataizinho – 64506500. Margem direita do Rio Tibagi. 120
Figura 15. Referência de nível 1 – RN1, da estação fluviométrica Canal de Fuga Jataizinho – 64506500. Margem direita do Rio Tibagi. 120
Figura 16. Receptor geodésico – *rover*, utilizado para a obtenção de coordenadas geodésicas da RN1, referente à estação fluviométrica Canal de Fuga Jataizinho – 64506500. Margem direita do Rio Tibagi. 121
Figura 17. Lances de régua da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000. Margem esquerda do Rio Tibagi. 121

Figura 18. Referência de nível 3 – RN3, da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000. Margem esquerda do Rio Tibagi. 122
Figura 19. Receptor geodésico – *rover*, utilizado para a obtenção de coordenadas geodésicas da RN3, referente à estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000. Margem esquerda do Rio Tibagi. 122
Figura 20. UHE Capivara: Vertedouro, blocos dispersores e talude de jusante.....124
Figura 21. UHE Capivara: Talude de montante e crista. 124
Figura 22. UHE Capivara: Talude de jusante. 125
Figura 23. UHE Capivara: Crista da barragem. 125
Figura 24. Representação esquemática do ângulo zenital e do ângulo de inclinação. 127
Figura 25. Distribuição do ICV geral da vazão média nos trechos analisados do Rio Paranapanema. 155
Figura 26. Fluviograma elaborado com base em dados de estações fluviométricas do alto e médio curso do Rio Paranapanema. 156
Figura 27. Fluviograma detalhando os dados das estações fluviométricas do alto curso do Rio Paranapanema: Campina do Monte Alegre e Ponte Melo Peixoto. ...157
Figura 28. Regime hidrológico do Rio Paranapanema nos diferentes períodos hidrológicos identificados por meio do teste de Pettitt.....159
Figura 29. Regime de variação da cota altimétrica do Rio Paranapanema nos diferentes períodos hidrológicos identificados através do teste de Pettitt. 160
Figura 30. Regime de operação mensal da UHE Capivara. 164
Figura 31. Regime de operação mensal da UHE Capivara, focando os dados de vazão afluente, vazão defluente e nível montante. 165
Figura 32. Regime de operação mensal da UHE Capivara, focando os dados de nível montante e volume útil. 165
Figura 33. Dados de vazão natural, normalizados em relação ao desvio padrão. ..167
Figura 34. Dados de vazão afluente, normalizados em relação ao desvio padrão. 168
Figura 35. Dados de vazão defluente, normalizados em relação ao desvio padrão. 168
Figura 36. Dados de vazão vertida, normalizados em relação ao desvio padrão. ..169
Figura 37. Dados de vazão turbinada, normalizados em relação ao desvio padrão. 170
Figura 38. Dados de nível montante, normalizados em relação ao desvio padrão. 171

Figura 39. Dados de volume útil, normalizados em relação ao desvio padrão. 171
Figura 40. Regime de operação da UHE Capivara, com base nas médias históricas mensais de vazão e cota altimétrica. 173
Figura 41. Fluviograma elaborado com base dados de estações fluviométricas do alto e baixo curso do Rio Tibagi. 174
Figura 42. Regime hidrológico detalhado da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. 175
Figura 43. Curva de permanência dos dados de vazão média da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. 176
Figura 44. Curva de permanência dos dados de vazão média da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. 177
Figura 45. Regime hidrológico do Rio Tibagi, nos diferentes períodos hidrológicos, identificados por meio do teste de Pettitt. Fluviograma referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. 178
Figura 46. Regime hidrológico do Rio Tibagi, nos diferentes períodos hidrológicos, identificados por meio do teste de Pettitt. Fluviograma referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. 178
Figura 47. Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e à vazão afluente da UHE Capivara. 180
Figura 48. Teste de Pettitt aplicado às cotas fluviométricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e UHE Capivara. 180
Figura 49. Teste de Pettitt aplicado às cotas altimétricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e UHE Capivara. 181
Figura 50. Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Jataizinho 64507000. 182
Figura 51. Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Tibagi 64465000. 183
Figura 52. Teste de Pettitt aplicado às cotas fluviométricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Jataizinho 64507000. 184
Figura 53. Teste de Pettitt aplicado às cotas altimétricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Jataizinho 64507000. 185

Figura 54. Anomalias interanuais de TSM, ODP e IOS.....189
Figura 55. Relação entre as médias interanuais dos índices IOS, IOS da região 3.4 e ODP. 190
Figura 56. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara e a média interanual do índice ODP. 191
Figura 57. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Jataizinho 64507000 e a média interanual do índice ODP.....193
Figura 58. Relação entre a média interanual da estação fluviométrica Tibagi 64465000 e a média interanual do índice ODP.....194
Figura 59. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara e média interanual do IOS e IOS da região Niño 3.4. 195
Figura 60. Relação entre vazão média interanual da estação fluviométrica Jataizinho 64507000 e média interanual do IOS e IOS da região Niño 3.4.....197
Figura 61. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Tibagi 64465000 e a média interanual do IOS e IOS da região Niño 3.4.....198
Figura 62. Número de dias com cota altimétrica do Rio Tibagi entre o nível de margens plenas, 339.346 m, e o início da altitude para a maioria dos terraços, 340.052 m. 211
Figura 63. Número de dias com cota altimétrica do Rio Tibagi igual ou superior a 340.053 m. 211
Figura 64. Total de dias com cota altimétrica do Rio Tibagi igual entre o nível de margens plenas, 339.346 m e 340.52 m e igual ou superior a 340.053 m.....212
Figura 65. Ilustração de algumas matérias de jornais, acerca dos problemas de inundações na cidade de Jataizinho. 269
Figura 66. Hidrograma 2. Período: 08/01/1995 a 18/01/1995. Vazão de pico em 12/01/1995. 295
Figura 67. Hidrograma 3. Período: 20/01/1997 a 31/01/1997. Vazão de pico: 23/01/1997. 299

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Precipitação sazonal sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi. 38
Tabela 2. Registros históricos de vazão do Rio Paranapanema.....39
Tabela 3. Vazões médias do Rio Paranapanema, calculadas para fins comparativos. 40
Tabela 4. Dados sobre a estação fluviométrica do reservatório – nível de montante, da UHE Capivara. 130
Tabela 5. Tabela síntese do Índice de Consistência de Vazão – ICV, referente aos trechos analisados do Rio Tibagi. 149
Tabela 6. ICV Histórico Mensal dos trechos do Rio Paranapanema que apresentaram ICV Geral razoáveis e ruins.....152
Tabela 7. Valores médios de vazão do Rio Paranapanema. 158
Tabela 8. Médias históricas de vazão dos diferentes períodos hidrológicos. 161
Tabela 9. Médias históricas de cota altimétrica dos diferentes períodos hidrológicos. 161
Tabela 10. Médias históricas de vazão, cota fluviométrica e cota altimétrica da UHE Capivara. 172
Tabela 11. Médias históricas de vazão e cota fluviométrica da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. 176
Tabela 12. Anos com ocorrência de vazões atípicas na estação fluviométrica Balsa do Paranapanema - 64515000 e os respectivos valores de IOS e ODP.....200
Tabela 13. Anos com ocorrência de vazões atípicas na estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000 e os respectivos valores de IOS e ODP. 202
Tabela 14. Anos com ocorrência de vazões atípicas referentes à estação fluviométrica Tibagi - 64465000, e os respectivos valores de IOS e ODP. 204
Tabela 15. Índice de compacidade e fator de forma das Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e Ribeirão Jataizinho. 206
Tabela 16. Altitudes das cotas zero das réguas linimétricas, calculadas através de técnicas *GNSS.* 207
Tabela 17. Matriz de distâncias em quilômetros (km) entre as estações fluviométricas, o limite máximo do remanso no Rio Tibagi e a UHE Capivara. 208
Tabela 18. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo do Cenário 1. 279
Tabela 19. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo 1 do Cenário 2. 281

Tabela 20. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo 2 do Cenário 2. 281
Tabela 21. Comparação entre os resultados dos principais testes estatísticos referentes ao modelo 1 e modelo 2 do cenário 2. 282
Tabela 22. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo do Cenário 3. 284
Tabela 23. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo do Cenário 4. 285
Tabela 24. Dados hidrológicos acerca dos hidrogramas de inundação do período de cheia do Rio Tibagi.....289
Tabela 25. Dados hidrológicos acerca dos hidrogramas de inundação do período de vazante do Rio Tibagi.....292
Tabela 26. Dados topográficos obtidos por meio de estação total e técnicas *GNSS*, referentes ao nível do Rio Tibagi nas colunas de sustentação da linha férrea em 23/01/1997. 325

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Informações sobre as estações fluviométricas selecionadas do Rio Paranapanema. 98
Quadro 2. Informações sobre as estações fluviométricas selecionadas do Rio Tibagi. 99
Quadro 3. Informações sobre as UHEs e PCHs em operação e em fase de estudos para futura instalação, referentes ao Rio Paranapanema e ao Rio Tibagi. 101
Quadro 4. Equipamentos e materiais utilizados em campo para a obtenção de coordenadas geodésicas e levantamentos topográficos. 126
Quadro 5. Variáveis testadas nas regressões lineares múltiplas. 135
Quadro 6. Impactos do El Niño e da La Niña nas regiões do Brasil. 186
Quadro 7. Impactos do El Niño e da La Niña na América do Sul. 186
Quadro 8. Episódios de *El Niño.* 187
Quadro 9. Episódios de *La Niña.* 187
Quadro 10. Informações sobre inundações e alagamentos na cidade de Jataizinho obtidas nos registros da Defesa Civil de Jataizinho. 214
Quadro 11. Informações extraídas das matérias de jornais. 225
Quadro 12. Datas de referência para a construção dos hidrogramas e fluviogramas. 272
Quadro 13. Imagens de satélite encontradas com as datas mais próximas a episódios de inundação. 277
Quadro 14. Hidrogramas analisados, separados por períodos de cheia e vazante. 288
Quadro 15. Descrição dos locais inseridos em cada uma das principais áreas de inundação na cidade de Jataizinho. 351

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO 23

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA, CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. 23

1.2 HIPÓTESE DE TRABALHO 27

1.3 JUSTIFICATIVA 27

1.4 OBJETIVOS 29

1.4.1 Objetivo Geral 29

1.4.2 Objetivos Específicos 29

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO 31

2. 1 PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS, TIPOS DE ROCHAS E ESTRUTURAS GEOLÓGICAS. 31

2.2 PRINCIPAIS FORMAS DE RELEVO E TIPOS DE SOLOS DOMINANTES. 33

2.3 DINÂMICA E TIPOLOGIA CLIMÁTICA. 35

2.4 AS BACIAS HIDROGRÁFICAS E PRINCIPAIS CANAIS FLUVIAIS INVESTIGADOS. 39

2.5 COBERTURA VEGETAL. 41

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 43

3.1 BASE TEÓRICO-METODOLÓGICA 43

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 46

3.2.1 Sistemas Fluviais 46

3.2.2 Escalas, Teleconexões e Variabilidade Hidroclimática 64

CAPÍTULO 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 96

4.1 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS HIDROLÓGICOS 96

4.1.1 Identificação das Estações Fluviométricas, das Usinas Hidrelétricas – UHEs e das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs na Área de Estudo 96

4.1.2 Preenchimento das Falhas dos Dados Hidrológicos 103

4.1.3 Análise de Consistência dos Dados de Vazão 105

4.2 IDENTIFICAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO DO RIO PARANAPANEMA, DO RIO TIBAGI E DO REGIME DE OPERAÇÃO DA UHE CAPIVARA. 110

4.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PERÍODOS HIDROLÓGICOS DO RIO PARANAPANEMA E DO RIO TIBAGI. 111
4.3.1 Períodos Hidrológicos Identificados Por Meio do Teste de Pettitt. 111
4.4 RELACIONAMENTO ENTRE DADOS DE VAZÃO E ÍNDICES CLIMÁTICOS. 113
4.5 IDENTIFICAÇÃO DE EPISÓDIOS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE JATAIZINHO. 113
4.5.1 Coeficiente de Compacidade – Kc e Fator de Forma – Kf das Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e do Ribeirão Jataizinho. 114
4.5.2 Identificação de Episódios de Inundação na Cidade de Jataizinho, Através do Relacionamento entre Dados Topográficos e Dados Hidrológicos do Rio Tibagi. 115
4.5.3 Identificação de Episódios de Inundação, na Cidade de Jataizinho, Através da Consulta do Banco de Dados da Prefeitura de Jataizinho, dos Registros da Defesa Civil do Paraná e de Matérias de Jornais. 130
4.6 RELACIONAMENTO HIDROMÉTRICO ENTRE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E DADOS DE ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DO RIO TIBAGI E DO RESERVATÓRIO DA UHE CAPIVARA. 133
4.6.1 Regressão Linear Múltipla. 133
4.6.2 Construção de Hidrogramas do Rio Tibagi Referentes a Episódios de Inundação na Cidade de Jataizinho. 141
4.7 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓFICO DO SÍTIO URBANO DE JATAIZINHO E ESPACIALIZAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS. 145
***CAPÍTULO 5.* RESULTADOS E DISCUSSÃO 148**
5.1 CONSISTÊNCIA DOS DADOS DE VAZÃO. 148
5.1.2 Rio Paranapanema. 148
5.2 REGIMES HIDROLÓGICOS IDENTIFICADOS. 155
5.2.1 Regime hidrológico do Rio Paranapanema. 155
5.2.2 Regime de operação da UHE Capivara. 161
5.2.3 Regime Hidrológico do Rio Tibagi. 173
5.3 PERÍODOS HIDROLÓGICOS IDENTIFICADOS. 179
5.3.1 Períodos Hidrológicos do Sistema Rio Paranapanema – UHE Capivara. 179
5.3.2 Períodos Hidrológicos do Rio Tibagi. 182

5.4 Relação Entre a Variabilidade Hidrológica e os Índices Climáticos IOS, IOS da Região Niño 3.4 e ODP. 185
5.4.1 Relação Entre Variabilidade Hidrológica e ODP. 190
5.4.2 Relação Entre Variabilidade Hidrológica, IOS e IOS da Região Niño 3.4. 195
5.4.3 Relação Entre Vazões Atípicas Positivas e os Índices Climáticos ODP, IOS e IOS da Região Niño 3.4. 199
5.5 Episódios de Inundação Identificados na Cidade de Jataizinho. 206
5.5.1 Coeficiente de Compacidade – Kc e Fator de Forma – Kf das Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e do Ribeirão Jataizinho. 206
5.5.2 Episódios de Inundação Identificados Através do Relacionamento entre Dados Topográficos e Dados Hidrológicos do Rio Tibagi. 206
5.5.3 Episódios de Inundação, na cidade de Jataizinho Identificados nos Registros da Defesa Civil e nas Matérias de Jornais. 213
5.6 Relacionamento Hidrométrico Entre Dados Pluviométricos e Dados de Estações de Monitoramento do Rio Tibagi e do Reservatório da UHE Capivara. 278
5.6.1 Regressão Linear Múltipla. 278
5.6.2 Hidrogramas dos episódios de inundação do Rio Tibagi. 287
5.7 Mapeamento Geomorfológico do Sítio Urbano de Jataizinho. 342
5.8 Espacialização das Áreas Inundadas no Sítio urbano de Jataizinho. 347
***CAPÍTULO 6.* CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES 353**
REFERÊNCIAS 360
ANEXOS 375
ANEXO 1. HISTÓRICOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DO RIO TIBAGI E DA UHE CAPIVARA. 376
ANEXO 2. RELATÓRIOS DOS TESTES DE PETTITT. 393
ANEXO 3. REGISTROS ACERCA DAS OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE JATAIZINHO: NOTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE DESASTRES – NOPRED, REGISTROS DA COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO PARANÁ – CEPDEC. 426

ANEXO 4. SCRIPTS DOS TESTES DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA EFETUADOS NO SOFTWARE R. 437

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA, CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

O Rio Tibagi, localizado no Estado do Paraná, é o principal tributário da margem esquerda do Rio Paranapanema, com aproximadamente 550 km de percurso, inserido em uma bacia hidrográfica com 24712 km^2 de área de drenagem (MAACK, 1981, p.329; FRANÇA, 2002, p.47), ambos constituintes da bacia hidrográfica do Rio Paraná.

A operação da UHE Escola Engenharia Mackenzie – Capivara –, no ano de 1976, localizada no médio curso do Rio Paranapanema, especificamente na Bacia Hidrográfica do Paranapanema III, divisa entre os Estados de São Paulo e Paraná, provocou modificações nos canais fluviais, tanto no Rio Paranapanema, como no baixo curso do Rio Tibagi, neste especificamente próximo a sua foz, devido ao surgimento do Reservatório de Capivara. Assim, esta área do Rio Tibagi foi transformada em área de remanso, isto é, passou a fazer parte do Reservatório de Capivara.

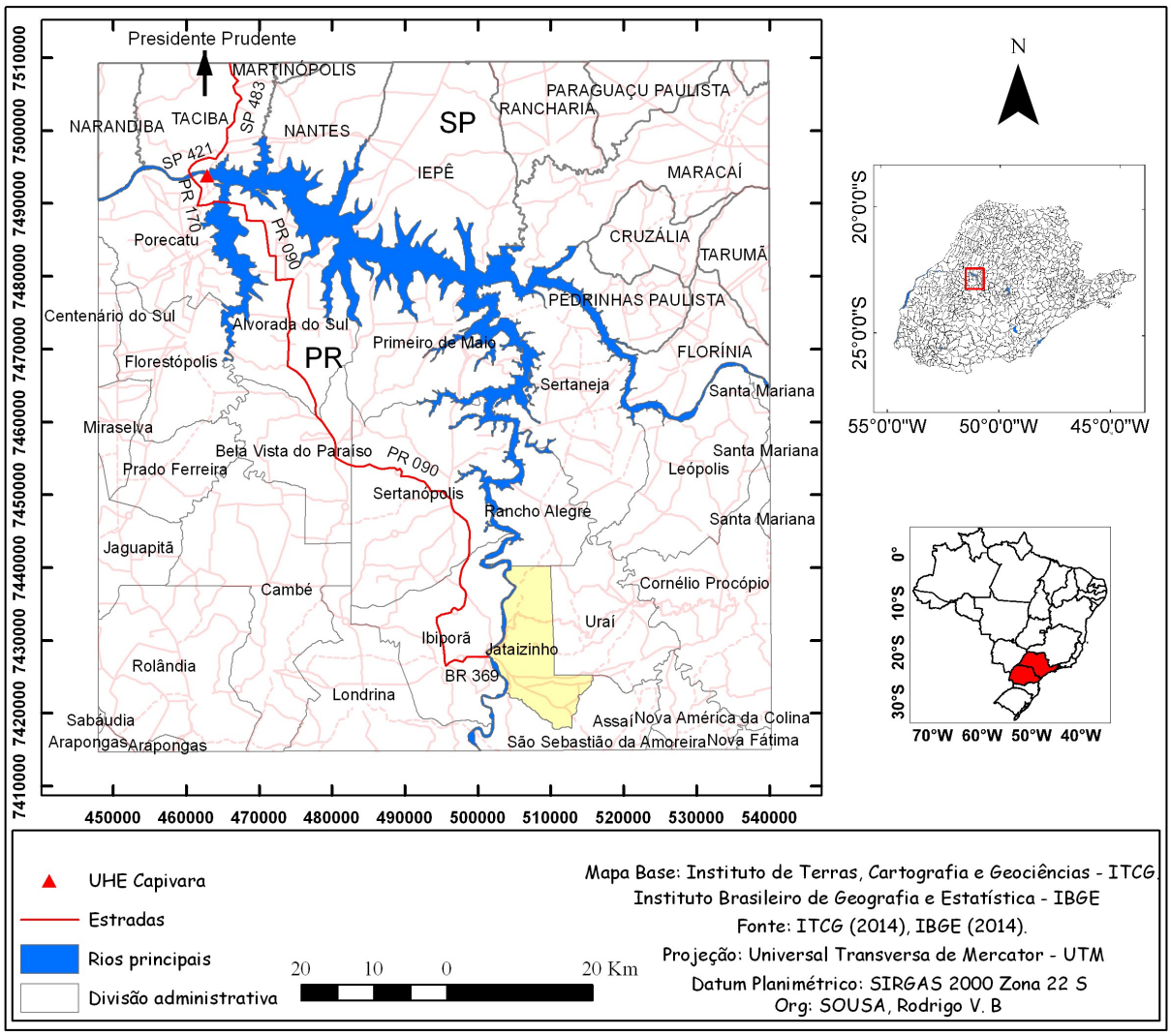
A cidade de Jataizinho – PR, localizada no baixo curso do Rio Tibagi, destaca-se na literatura e nos registros oficiais da Defesa Civil do Paraná no que diz respeito à ocorrência de inundações. Embora Sousa (2012) tenha realizado um mapeamento morfológico de áreas urbanas sujeitas à inundação, na cidade de Jataizinho, tal estudo não abordou se o remanso provocado pela construção da UHE Capivara, o qual abrange a foz do Rio Tibagi, influencia de alguma maneira a ocorrência de inundações nesta cidade. Esta pode ser considerada a problemática da presente pesquisa.

A área de estudo encontra-se na divisa do norte do Estado do Paraná e sudoeste do Estado de São Paulo. Esta compreende desde a UHE Capivara, localizada no médio curso do Rio Paranapanema, a qual está situada nos municípios de Porecatu – PR e Taciba – SP, até o sítio urbano de Jataizinho.

Tendo como referência a rodovia Raposo Tavares – SP 270, a rodovia principal que dá acesso à UHE Capivara é a SP 421; enquanto a rodovia principal que dá acesso à cidade de Jataizinho é a BR 369, no Estado do Paraná.

Acompanhando o curso dos rios Tibagi e Paranapanema, a cidade de Jataizinho dista 118,23 km do eixo da barragem da UHE Capivara e, por via terrestre, aproximadamente 175 km e 25 km, respectivamente, das cidades de Presidente Prudente – SP e Londrina - PR (Figura 1).

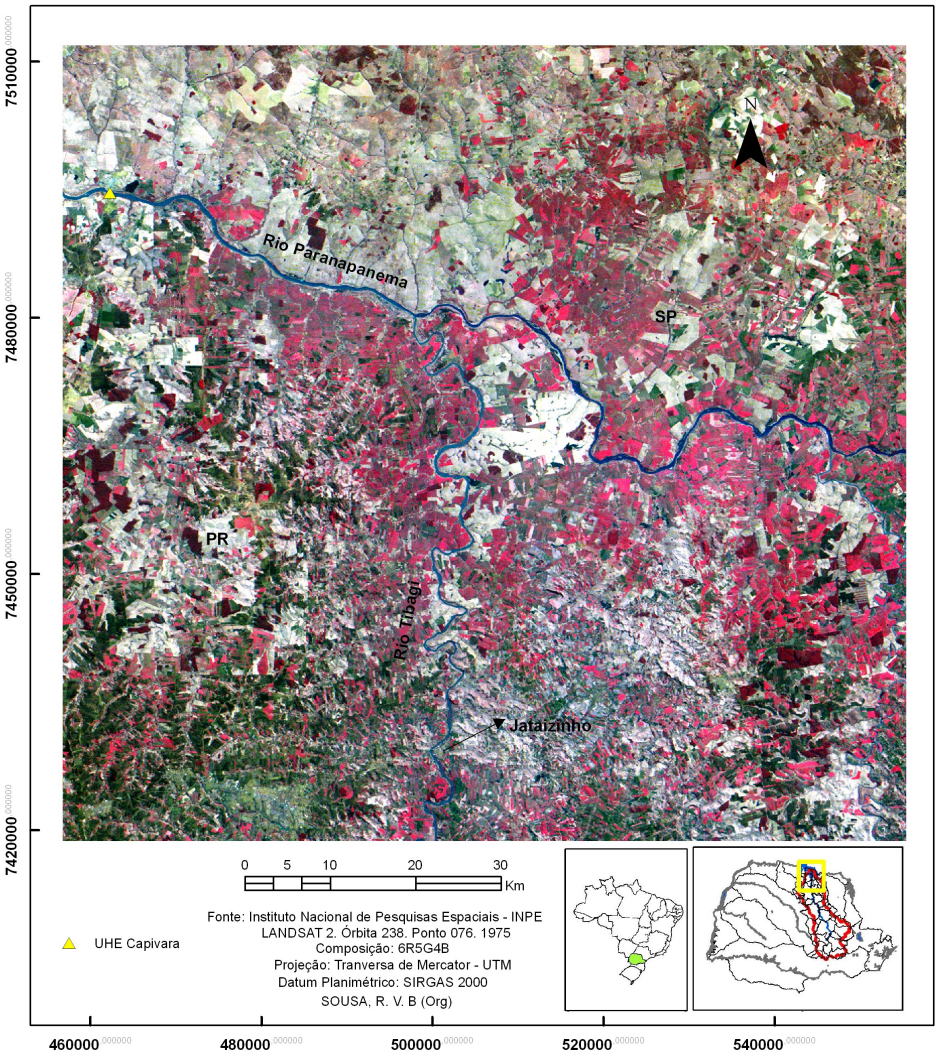
Figura 1. Localização da área de estudo.



Organizado por SOUSA, R. V. B.

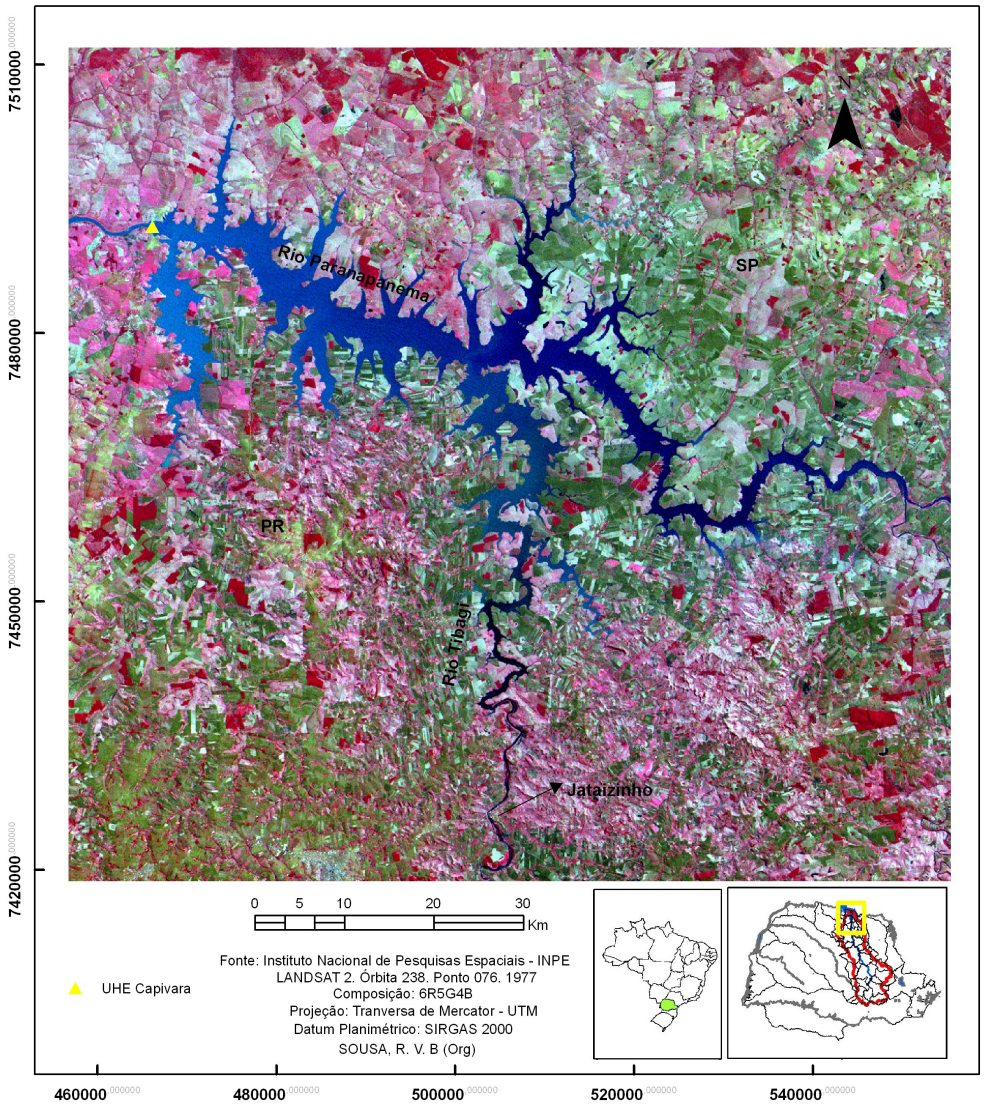
As transformações nos canais fluviais, após a construção da UHE Capivara, podem ser observadas na (Figura 2) e (Figura 3).

Figura 2. Formas do Rio Paranapanema e Rio Tibagi, anterior à construção da UHE Capivara.



Fonte: INPE (2010). Imagem LANDSAT 2, sensor MSS, órbita 238, ponto 076, ano 1975. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 3. Transformações nos vales de drenagem do Rio Paranapanema e Rio Tibagi, posterior à construção da UHE – Capivara.



Fonte: INPE (2010). Imagem LANDSAT 2, sensor MSS, órbita 238, ponto 076, ano 1977. Organizado por SOUSA, R.V.B.

1.2 HIPÓTESE DE TRABALHO

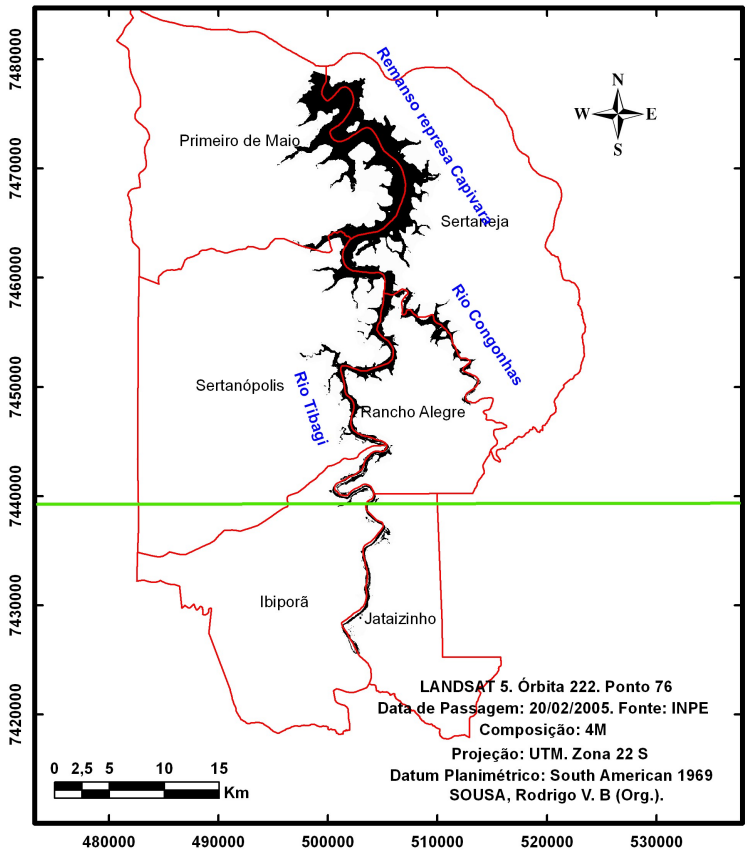
Embora a porção norte do município de Jataizinho situe-se na área de influência do remanso ocasionado pela construção da UHE Capivara, isto é, na área de influência do reservatório de Capivara; Sousa (2012), através de fotointerpretação de imagens orbitais, demonstrou que a área urbana deste município está fora dos limites do reservatório. Em termos quantitativos, calculou-se nesta pesquisa que a cidade de Jataizinho localiza-se 19.21 km ao sul do limite máximo do reservatório.

Todavia, as causas das inundações na cidade de Jataizinho ainda não foram detalhadas. Na medida em que a cidade de Jataizinho encontra-se poucos quilômetros fora dos limites do reservatório de Capivara, a hipótese desta pesquisa é de que, em determinadas situações, o regime de operação da UHE Capivara intensifica o fenômeno de remanso. Como resultado, haveria um recuo ainda maior da foz do Rio Tibagi e a mudança do gradiente hidráulico deste nas adjacências da cidade de Jataizinho ou, ainda, maior retardamento do fluxo natural do Rio Tibagi. Este conjunto de processos seria responsável pela ocorrência de inundações mais intensas na cidade investigada.

1.3 JUSTIFICATIVA

Sousa (2012, p.136) demonstrou que todas as áreas sujeitas à inundação, na cidade de Jataizinho, encontram-se em ambientes de acumulação fluvial – Apf, isto é, planícies fluviais. O mesmo autor também observou, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, especificamente através de operações aritméticas de bandas, que o limite máximo aproximado do remanso, no Rio Tibagi, atinge aproximadamente a latitude 7440000. Esta latitude abrange os municípios de Sertanópolis, Rancho Alegre e parte dos territórios de Jataizinho e Ibiporã (Figura 4). Ressalta-se que, relatórios técnicos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2007, 2011), corroboram o fato de estes municípios serem atingidos pelo reservatório de Capivara, uma vez que estes são contemplados por Compensações Financeiras pela Utilização dos Recursos Hídricos – CFURH.

Figura 4. Imagem ilustrando os municípios adjacentes ao Rio Tibagi atingidos pelo reservatório de Capivara e o limite máximo aproximado do remanso.



Linha verde: Limite máximo aproximado do remanso. Fonte: Adaptado de Sousa (2012). Imagem orbital original: LANDSAT 5. Divisão administrativa: ITCG.

Ainda observando a (Figura 4), verifica-se que apenas a porção norte do município de Jataizinho está inserida na área de influência do remanso. Desse modo, as inundações que ocorrem, no sítio urbano da cidade, localizada mais ao sul, não teriam relação com o remanso. Na prática, porém, talvez possa existir alguma correspondência entre o remanso a jusante e as inundações, na área urbana a montante, distante 19,21 km seguindo o curso do canal fluvial.

Nesse sentido, pelo fato de Jataizinho ser uma cidade afetada constantemente por inundações, e pelo fato destes fenômenos ocasionarem prejuízos socioeconômicos à população local, o desenvolvimento desta pesquisa reside no fato de haver uma lacuna no que diz respeito ao entendimento das causas responsáveis pelas inundações na cidade de Jataizinho, uma vez que não é de inteiro conhecimento se há algum efeito induzido pelo regime de operação da UHE Capivara para a ocorrência de inundações.

Ressalta-se, ainda, que, estudos dessa natureza, com o intuito de avaliar o efeito induzido do remanso para a ocorrência de inundação, são praticamente inexistentes na literatura. Devido a isso e por não se ter conhecimento de pesquisa realizada com esta problemática, na área de estudo em questão, a presente pesquisa justifica-se: a) por ser considerada uma pesquisa inédita; b) devido ao tema central da pesquisa ser pouco abordado na literatura, a metodologia a ser adota pode ser considerada inovadora, uma vez que não há metodologia específica em estudos de hidrogeografia para se abordar esta problemática; c) por ser uma pesquisa que pode contribuir para a gestão socioambiental da área de estudo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar as variáveis determinantes para a ocorrência de inundações, na cidade de Jataizinho, através de um relacionamento hidrométrico, visando compreender se estas variáveis dizem respeito somente a causas naturais ou se há influência do regime de operação da UHE Capivara para o transbordamento do Rio Tibagi.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o regime e o período hidrológico do Rio Tibagi e do Rio Paranapanema, a fim de verificar a variabilidade da vazão e se houve mudança no comportamento do regime hidrológico destes canais fluviais;
- Elaborar um modelo de relacionamento hidrométrico entre dados de estações de monitoramento do Rio Tibagi e do reservatório da UHE Capivara, com o intuito de verificar as conexões hidrométricas existentes entre estes sistemas fluviais em episódios de inundação.

- Elaborar mapeamento geomorfológico, para identificar as formas de relevo agradacionais e denudacionais do sítio urbano de Jataizinho.
- Espacializar as áreas inundáveis, no sítio urbano de Jataizinho, e correlacioná-las com as formas de relevo mapeadas.

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2. 1 PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS, TIPOS DE ROCHAS E ESTRUTURAS GEOLÓGICAS.

Analisando-se as bases cartográficas digitalizadas de Minerais do Paraná S/A – MINEROPAR (2015), na escala 1:250.000, e o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1981), na escala 1:500.000, observa-se que as principais unidades geológicas na área de estudo são formadas por rochas da Formação Serra Geral – JKsg –, pertencente ao Grupo São Bento, e da Formação Adamantina – Ka –, pertencente ao Grupo Bauru.

Em território paulista, verificam-se rochas da Formação Serra Geral – JKsg –, bordejando a margem direita do Rio Paranapanema, e alguns depósitos Quaternários – Qa –, mais próximos ao canal fluvial. Mais ao norte do canal fluvial, observam-se rochas da Formação Adamantina – Ka. Entretanto, as rochas da Formação Serra Geral – JKsg – ocorrem em maior proporção.

Do lado da margem esquerda do Rio Paranapanema, em território paranaense, verificam-se sobremaneira rochas da Formação Serra Geral – JKsg. A exceção fica para alguns depósitos Quaternários – Qa, próximos ao canal fluvial, e para algumas pequenas áreas de contato litológico, a mais notável, com afloramento de rochas da Formação Adamantina – Ka –, a qual abrange as imediações do norte do município de Bela Vista do Paraíso – PR e seus limites, a saber, noroeste do município de Sertanópolis – PR, sudoeste do município de Primeiro de Maio e sul do município de Alvorada do Sul, todos localizados a oeste do Rio Tibagi, este já inserido na área de influência da Represa de Capivara.

Acerca da litologia, a Formação Serra Geral – JKsg – é constituída por rochas magmáticas extrusivas, basicamente basaltos toleíticos, originadas na Era Mesozoica, período Neojurássico, cuja datação das rochas é de aproximadamente 140 m.a. Estudos mostram que as espessuras das rochas podem atingir entre 450 m e 600 m; entretanto perfurações da Petrobrás, no território

paranaense, revelaram espessuras de até 1199 m (PETRI; FÚLFARO, 1983, p.235; DNPM, 1984, p.347; MAACK, 1981, p.420; MINEROPAR, 2001, p.15).

Quanto à Formação Adamantina – Ka –, segundo Soares *et al.* (1980 *apud* PINESE, 2002, p.35), esta é composta especialmente por bancos de arenitos de granulação fina a muito fina. Possui estratificação cruzada e bancos alternados, com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro. De idade cretácea superior, possui bancos de sedimentos que variam entre 2 m e 20 m de espessura.

Em síntese, tanto a UHE Capivara quanto o sítio urbano e todo o município de Jataizinho possuem como substrato rochoso as rochas da Formação Serra Geral – JKsg.

No que diz respeito às estruturas geológicas – como fraturas, falhas definidas, lineamentos estruturais ou lineamentos fotogeológicos, diques, falhas preenchidas por diques, entre outras – são observados lineamentos estruturais de forma abundante, no território paranaense, os quais estão relacionados à Formação Serra Geral – JKsg. No território paulista, os lineamentos estruturais são quase inexistentes, no que se refere à área de estudo.

A análise dos lineamentos estruturais é importante, pois, em alguns casos, estas estruturas condicionam as formas de trechos de drenagem e explicam a existência de anomalias nestes, denominadas por Soares e Fiori (1978, p.35) como anomalias de drenagem.

Nesse sentido, o trecho do Rio Tibagi, ao norte da área urbana de Jataizinho, apresenta forma reta e anomalia de drenagem em forma de cotovelo, controlados por um lineamento estrutural de direção SO – NE.

Visto que as escalas cartográficas dos produtos analisados não são compatíveis, dispensou-se a produção de mapas. Como a escala cartográfica de MINEROPAR (2015) é de 1:250.000, destaca-se que as bases cartográficas consultadas dizem respeito às folhas: Presidente Prudente: SF – 22 – Y – B; Londrina: SF – 22 – Y – D; Marília: SF – 22 – Z – A e Cornélio Procópio: SF – 22 – Z – C.

Optou-se por não utilizar as bases cartográficas digitais estaduais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, uma vez que estas

apresentam escala inferior aos materiais consultados, especificamente, 1:750.000, e denominações das formações geológicas um pouco diferenciadas.

2.2 PRINCIPAIS FORMAS DE RELEVO E TIPOS DE SOLOS DOMINANTES.

Os domínios morfoestruturais e morfoesculturais, as formas dominantes, as altitudes e declividades predominantes do relevo da área de estudo foram avaliados com base no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, na escala de 1:500.000, elaborado por Ross e Moroz (1997), em Maack (2012), no Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná, elaborado na escala de 1:250.000 e produzido MINEROPAR e UFPR (2006), Santos *et al.* (2006) e no mapeamento geomorfológico realizado para a área da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos – UGRH – Paranapanema, realizado por Moroz-Caccia Gouveia *et al.* (2014). A consulta dos mapas geomorfológicos produzidos por MINEROPAR; UFPR (2006), diz respeito às folhas de Presidente Prudente: SF – 22 – Y – B; Londrina: SF – 22 – Y – D; Marília: SF – 22 – Z – A e Cornélio Procópio: SF – 22 – Z – C.

Nesse sentido, observa-se que o domínio morfoestrutural da área de estudo é a Bacia Sedimentar do Paraná. Com relação aos domínios morfoesculturais, pelo fato dos materiais cartográficos terem sido produzidos por diferentes autores, as nomenclaturas dos domínios não são iguais, embora as características geomorfológicas sejam similares.

Assim, do lado da margem direita do Rio Paranapanema, a área de estudo localiza-se sobre o domínio morfoescultural Planalto Ocidental Paulista, especificamente sobre a unidade Planalto Centro Ocidental. Os modelados dominantes são colinas baixas e amplas e vertentes convexas. A altitude varia entre 300 m e 600 m; enquanto a declividade do relevo oscila entre 10% e 20%.

Na medida em que Moroz-Caccia Gouveia *et al.* (2014, p.33) propuseram um mapeamento geomorfológico para a UGRH Paranapanema, os autores subdividiram a unidade geomorfológica Planalto Centro Ocidental, a fim de ajustá-la à classificação feita por MINEROPAR e UFPR (2006).

Nesse sentido, foram distinguidas uma unidade com topos tabulares e fraca dissecação e outra unidade com topos convexos, apresentando dissecação

de média a forte, e individualização do Planalto do Médio Paranapanema, adotando-se a mesma nomenclatura do Atlas Geomorfológico do Paraná, pois segundo Moroz-Caccia Gouveia *et al.* (2014, p.33), essas áreas são homólogas e contínuas.

Do lado da margem esquerda do Rio Paranapanema, as unidades morfoesculturais identificadas são o Planalto de Londrina, onde se situa o município de Jataizinho; o Planalto do Médio Paranapanema, podendo-se tomar como referência os municípios de Sertanópolis e Primeiro de Maio; o Planalto de Maringá, nas proximidades da UHE Capivara e do Rio Pirapó, represado pela usina hidrelétrica em questão; e, em termos mais genéricos, o Terceiro Planalto Paranaense, o qual abrange todos os planaltos mencionados.

Com relação ao Planalto de Londrina, os modelados dominantes são morretes com topos alongados, vertentes convexas e vales em V. O relevo denota altitudes que variam entre 340 m e 1180 m. Constata-se que a declividade predominante é inferior a 12%, apresentando dissecação média. Especificamente na folha de Cornélio Procópio SF – 22 – Z – C, na qual está localizado o município de Jataizinho, as altitudes variam entre 340 m e 980 m. Os solos dominantes quanto ao grau de evolução são os Nitossolos (MINEROPAR, 2006, p.20; MOROZ-CACCIA GOUVEIA *et al.,* 2014, p.32).

Quanto ao Planalto do Médio Paranapanema, os modelados dominantes são colinas com topos aplainados, vertentes convexas, vales em V e dissecação baixa. O relevo apresenta altitudes que oscilam entre 340 m e 600 m; enquanto a declividade predominante é inferior a 6%. Os solos dominantes, quanto ao grau de evolução, são os Latossolos e Nitossolos (MINEROPAR, 2006, p.20; MOROZ-CACCIA GOUVEIA *et al.,*2014, p.32).

Nas proximidades da margem esquerda da foz do Rio Tibagi – Represa de Capivara, tomando-se como referência o município de Primeiro de Maio, na folha Presidente Prudente SF – 22 – Y – B, as altitudes oscilam entre 340 m e 420 m. Na margem direita da foz do Rio Tibagi, tomando-se a carta topográfica de Marília SF – 22 – Z – A como referência, as altitudes são praticamente as mesmas, oscilando entre 340 m e 500 m (MINEROPAR, 2006, p.20).

Acerca do Planalto de Maringá, os modelados dominantes são colinas com topos alongados e aplainados, vertentes convexas, vales em V e

dissecação baixa. As altitudes oscilam entre 340 m e 740 m; enquanto a declividade dominante é inferior a 6%. Os solos dominantes, quanto ao grau de evolução, são os Latossolos (MINEROPAR; UFPR, 2006, p.28; MOROZ-CACCIA GOUVEIA *et al.,* 2014, p.32).

Feitas as devidas considerações, pode-se afirmar que a margem esquerda do local onde se encontra a UHE Capivara, no médio curso do Paranapanema, é constituída por relevos do Planalto de Maringá; enquanto a margem direita é formada por relevos do Planalto do Médio Paranapanema.

As principais formas de relevo em áreas adjacentes ao Reservatório de Capivara, abrangendo não apenas o Rio Paranapanema, mas também a foz do Rio Pirapó e a Foz do Rio Tibagi, dizem respeito ao Planalto de Maringá, Planalto do Médio Paranapanema e Planalto de Londrina. As formas de relevo do sítio urbano e de todo o município de Jataizinho estão relacionadas ao Planalto de Londrina.

2.3 DINÂMICA E TIPOLOGIA CLIMÁTICA.

Embora a maior parte da área de estudo esteja inserida, no Estado do Paraná, sul do Brasil, a mesma se encontra na parte mais setentrional deste Estado, ao norte do trópico de Capricórnio.

Nesse sentido, Monteiro (1962, p.38) aponta que o noroeste do Paraná e o oeste de São Paulo constituem uma área de transição climática. Monteiro (1968, p.117) acrescenta que esta faixa de transição climática, situada na parte mais setentrional da região sul brasileira, estende-se às regiões adjacentes nos sentidos leste e centro-oeste. Atuam ao norte desta área transicional principalmente os sistemas atmosféricos intertropicais; e ao sul os sistemas atmosféricos extratropicais. Por tal motivo, há dificuldade em se realizar uma precisa classificação climática dessa área.

Mendonça (1994, p.103) considera que a localização da cidade de Londrina é o limite sul dessa faixa transicional. Dessa forma, estando o município de Jataizinho próximo e a leste do município de Londrina, e ambos situados muito perto do paralelo do Trópico de Capricórnio, pode-se afirmar que Jataizinho e toda a área

de estudo, inserindo a localização da UHE Capivara, encontram-se sob essa faixa transicional climática.

Entretanto, é necessário estabelecer uma classificação climática, seja teórica ou oficial, independente desta área estar situada sob uma área de transição climática.

Assim, mesmo se encontrando sob uma área de transição climática, a área de estudo, bem como todo o Brasil meridional, pode segundo a classificação de Strahler (1951 *apud* MONTEIRO, 1968, p.157), ser enquadrada no grupo dos climas controlados por massas de ar tropicais e polares.

Estendendo-se aproximadamente entre os paralelos de 20ºS e 30ºS, Strahler e Strahler (2005, p.248) subdividem os tipos climáticos da região sul brasileira em dois grupos: um pertencente ao Grupo I – Climas de Latitude Baixa, denominado clima litorâneo de monção e ventos alísios, e o segundo, pertencente ao Grupo II – Climas de Latitude Média, denominado clima subtropical úmido.

Com base em BRASIL (2010), a área de estudo apresenta dois tipos de clima. Tomando as cidades de Jataizinho e Londrina como referência, observa-se um clima mesotérmico brando, com temperatura média entre 10ºC e 15ºC e superúmido sem seca. Já utilizando a localização da UHE Capivara como referência, verifica-se um clima subquente, com temperatura média entre 15º C e 18º C, no mínimo durante um mês do ano, e super úmido sem seca/subseca.

Os tipos de clima identificados demonstram que a área de estudo possui boa distribuição de chuva ao longo do ano. A respeito deste assunto, Monteiro (1962, p.38), assevera que a região meridional do Brasil apresenta chuvas bem distribuídas durante o ano inteiro, sendo esta a única região do país em que se verifica precipitações nivais.

Com relação aos principais sistemas atmosféricos e massas de ar atuantes na área de estudo, Mendonça (1994, p.106), em estudo sobre a cidade de Londrina, aponta que a disposição nordeste-norte-noroeste da abertura da parte jusante da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi direciona os fluxos de ventos, que são preferencialmente de leste e nordeste, provenientes do sistema atmosférico anticiclone semifixo do atlântico, o qual dá origem à massa tropical atlântica - mTa -,

principal massa de ar que atua na definição climática regional, seguida do sistema atmosférico anticiclone migratório polar, o qual origina a massa polar atlântica - mPa.

O direcionamento dos fluxos de ventos destes sistemas atmosféricos é condicionado pela configuração geomorfológica, especialmente pelas calhas dos rios Tibagi e Paranapanema. O ramo oceânico da mPa aproveita igualmente a mesma compartimentação geomorfológica em suas incursões de inverno; enquanto o ramo continental da mPa, a mEc e a mTc utilizam o vento vindo de oeste, sudoeste e noroeste (MENDONÇA, 1994, p.106). As principais massas de ar que atuam na área de estudo são, portanto: mTa, mPa, mEc e mTc.

Em estudo realizado por Wagner *et al.* (1989), cujo objetivo foi analisar a direção preferencial dos ventos no Estado do Paraná, verifica-se que mesmo no inverno, quando há aumento dos ventos provenientes de sudoeste e sudeste devido às incursões da mPa, ocorre maior participação dos ventos provenientes de leste e nordeste.

Na medida em que o tema da pesquisa diz respeito às inundações na cidade de Jataizinho, serão feitas algumas considerações pertinentes acerca do clima e do regime das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, a fim de detalhar um pouco mais a dinâmica climática neste recorte espacial.

Assim, com base em um sistema de classificação climático estático, especificamente, o sistema de classificação de Köppen, verifica-se um clima do tipo Cfb – clima úmido, com chuva durante todo o ano e verão moderadamente quente –, na região sul da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, alto curso do Rio Tibagi. Na região central da bacia hidrográfica, médio curso do Rio Tibagi, um clima ora Cfb, ora Cfa; enquanto na região norte da bacia hidrográfica, curso inferior do Rio Tibagi, o clima é do tipo Cfa – clima úmido, com chuva durante todo o ano e verão quente. Entretanto, devido ao aumento de altitude, municípios como Apucarana também apresentam um clima do tipo Cfb (MENDONÇA, 2002, p.65).

As temperaturas médias na região sul, central e norte da Bacia Hidrográfica do Tibagi são, nesta ordem, 18ºC, 19,5ºC e 21ºC; enquanto as médias pluviométricas são, respectivamente, 1550 mm, 1700 mm e 1600 mm (MENDONÇA, 2002, p.65).

Sousa (2012 p.106, 2014 p.172), ao analisar o regime das chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, aponta que os meses mais chuvosos e secos são, respectivamente, janeiro e agosto. A partir de março, há um decréscimo da precipitação, com aumento modesto no mês de maio. A retomada das chuvas inicia-se com a primavera, no final de setembro. De forma geral, o período chuvoso estende-se de setembro a março; enquanto o período mais seco se prolonga de abril a agosto. Ressalta-se que, não há ausência de chuva em nenhum mês ao longo do ano.

Sousa (2012, p.107), destaca que, devido à dinâmica climática que condiciona o regime pluviométrico na região meridional brasileira, a região norte da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, na qual está localizada a área de estudo, possui um verão com índices pluviométricos mais elevados. Já a região central e a região sul possuem um inverno mais chuvoso em relação à região norte. Os intervalos de chuva identificados pelas isoietas sazonais, traçadas pelo autor, refletem bem esta dinâmica das chuvas (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação sazonal sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi.

	Intervalo de Precipitação (mm)			Observações
Período Sazonal	Região Norte / Baixo Curso	Região Central / Médio Curso	Região Sul / Alto curso	
Primavera	150 a 162	150 a 162	150 a 158	Chuva com distribuição equilibrada
Verão	168 a 177	159 a 168	150 a 159	Chuva região norte > Chuva região central > Chuva da região sul.
Outono	99 a 115	107 a 123	115 a 123	Chuva região norte < Chuva região central < Chuva da região sul.
Inverno	68 a 100	84 a 100	100 a 115	Chuva região norte < Chuva região central < Chuva da região sul.

Fonte: Sousa (2012, p.109). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Conforme Monteiro (1968, p.142), as chuvas de verão, na região sul, advêm de participação menos frequente da mPa, de participação da mTa durante toda estação e da interação entre mEc e mTc. Porém a mPa continua a atuar, e, segundo Corrêa *et al.* (1982, p.5), as chuvas de verão em Londrina decorrem da conjunção de dois fatores: do semiestacionamento da mPa e da ocorrência de chuvas de convergência trazidas pelas correntes perturbadas de oeste. Estando a cidade de Jataizinho localizada aproximadamente 25 km a leste de Londrina, estas considerações são perfeitamente cabíveis para aquela.

2.4 As Bacias Hidrográficas e Principais Canais Fluviais Investigados.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema possui área de drenagem de aproximadamente 109.600 km^2. O rio principal, isto é, o Rio Paranapanema, nasce na Serra de Paranapiacaba, cuja localização geográfica é 48º 15' W e 24º 16' S, aproximadamente a 900 m de altitude, apresentando sentido de fluxo E – W. Possui aproximadamente 500 km de percurso, sendo que a maior parte do trecho deste rio faz divisa entre os Estados de São Paulo e Paraná. Seus principais tributários são o Rio Itararé, Rio Pardo, Rio Tibagi e Rio Pirapó, sendo apenas o Rio Pardo pertencente ao Estado de São Paulo. O término do percurso do Rio Paranapanema se dá no Rio Paraná (ZIESLER; ARDIZZONE, 1979; SAMPAIO, 1944; MAACK, 2012, IBGE, 2010).

Com base em IBGE (2010), verifica-se que a Serra de Paranapiacaba, onde se situa a nascente do Rio Paranapanema, constitui o divisor de águas das bacias hidrográficas pequenas voltadas para a costa, da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape, da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul e da Bacia Hidrográfica do Paraná, com altitudes que atingem até 1.100 m.

Acerca das vazões médias do Rio Paranapanema, Maack (2012, p.378) registrou os seguintes valores no ano de 1956, com base em seis anos de observações (Tabela 2).

Tabela 2. Registros históricos de vazão do Rio Paranapanema.

	Março - Período de Cheia (m^3/s)	Agosto - Período de Vazante (m^3/s)
Média	1025	781
Média das máximas	1599	1549
Média das mínimas	709	524

Fonte: Maack (2012). Dados divulgados em 1956, com base em seis anos de observação. Ao que tudo indica, o período analisado está compreendido entre 1951 e 1956. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Ressalta-se que, estes valores de vazões foram obtidos antes da regularização destas pela sequência de usinas hidrelétricas instaladas no Rio Paranapanema. Vale destacar que a primeira usina hidrelétrica, no Rio Paranapanema, a UHE Paranapanema, localizada no município de Piraju, entrou em

operação em 1957, isto é, um ano após a divulgação das vazões registradas por Maack (2012, p.378).

O autor, porém, não deixa explícito se estas vazões foram obtidas, na foz do Rio Paranapanema, e faz menção ao local denominado Balsa do Paranapanema. Caso os locais sejam os mesmos, a estação fluviométrica Balsa do Paranapanema 1 encontrava-se próxima à atual UHE Capivara, ou seja, no médio curso do Rio Paranapanema. Esta estação fluviométrica, porém, foi desativada em 1972, devido à mudança do regime hidrológico ocasionada pela construção da UHE Capivara. Os cálculos das vazões médias, os quais serão discutidos mais detalhadamente no capítulo 4, mostram-se muito próximos àqueles divulgados por Maack (2012, p.378), conforme consta na (Tabela 3).

Tabela 3. Vazões médias do Rio Paranapanema, calculadas para fins comparativos.

	Março - Período de Cheia (m^3/s)	Agosto - Período de Vazante (m^3/s)	Média histórica (m^3/s)
Média	1070	686	887
Média das Máximas	1795	1247	1691
Média das Mínimas	688	473	553

Fonte: Resultados calculados com base nos dados da ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Série: 1949 a 1972. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Maack (2012, p.379), aponta ainda que, em 1865, pesquisadores calcularam a cota de enchente em 6500 m^3/s e que a máxima absoluta medida, entre 1951 e 1956, foi de 7002 m^3/s, no mês de abril.

Com relação ao Rio Tibagi, este é considerado o principal tributário da margem esquerda do Rio Paranapanema, com aproximadamente 550 km de percurso e 24.712 km^2 de área de drenagem (MAACK, 2012, p.385; FRANÇA, 2002, p.47). Abrangendo o Primeiro, o Segundo e o Terceiro Planalto Paranaense, limita-se ao norte com a Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, a leste com as Bacias Hidrográficas do Rio Cinzas e Rio Itararé, a sudeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira, ao sul com a Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, a oeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí e a noroeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó, possuindo no total 65 tributários principais (FRANÇA, 2002, p.47).

A direção preferencial de fluxo do Rio Tibagi, segundo a análise de mapas de hidrografia, é SE – NW; enquanto o padrão de drenagem evidenciado, conforme a classificação de Christofoletti (1980, p.105), é do tipo paralelo, decorrente, entre outros fatores, dos controles estruturais existentes na área.

Acerca das médias históricas de vazão, referentes ao Rio Tibagi, Sousa (2012, p.116, 2014, p.172) calculou os seguintes valores para as vazões médias, médias das máximas e médias das mínimas: 367 m^3/s, 805 m^3/s e 206 m^3/s.

2.5 COBERTURA VEGETAL.

Segundo Maack (1981, p.246), a vegetação natural dominante, na área do curso inferior da bacia hidrográfica do rio Tibagi, era a mata pluvial tropical, uma variação da mata pluvial-tropical do litoral, rica em palmeiras, destacando-se a *Euterpe edulis,* conhecida como palmito. A gradativa transição para o caráter subtropical relaciona-se à altitude, ocorrendo a formação das matas de araucária *(Araucaria angustifolia)* acima de 500 m.

Conforme Torezan (2002, p.105), a vegetação originalmente dominante era a floresta estacional semidecidual, a qual formava um contínuo com a floresta ombrófila densa – Floresta Atlântica –, sendo, por isso, considerada parte do bioma das florestas tropicais.

Amaral *et al.* (2013, p.96), explicam que a floresta estacional semidecidual está condicionada à estacionalidade climática, como época com intensas chuvas de verão, seguida de estiagem acentuada, outra sem período seco, porém com seca fisiológica provocada pelo intenso frio de inverso.

Esta tipologia vegetal apresenta as seguintes características: a porcentagem de árvores caducifólias, isto é, que perdem as folhas, situa-se entre 20% e 50%; apresenta dossel uniforme, com árvores emergentes; ocorre na latitude norte de 4º e na latitude sul, entre 16º e 32º (AMARAl *et al.* 2013, p.96).

Ross (2013, p.93), ao analisar os sistemas ambientais naturais do Brasil em escala macro, através da combinação de informações geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas e biogeográficas, concluiu que alguns sistemas ambientais são poucos transformados; enquanto outros são intensamente

transformados pelas atividades humanas. A floresta estacional semidecidual, segundo o autor, está inserida neste último grupo. Atualmente, desenvolvem-se nesta área atividades de agricultura mecanizada e pecuária de cria e corte. Subsistem somente pequenos bosques de fragmentos florestais, os quais geralmente são reservas particulares, fortemente degradadas pela exploração seletiva de madeira.

De acordo com Barros; Mendonça (2000, p.85), o Estado do Paraná apresentava áreas com matas nativas em torno de 84 % em 1895; e, em 1987, detinha apenas uma estimativa de 2,5%. Destaca-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi sofreu intenso processo de fragmentação e desmatamento ao longo do século XX, principalmente após as décadas de 1930 e 1940 devido às circunstâncias econômicas vivenciadas no período, somando-se o fato de possuir solos férteis e uma elevada aptidão agrícola, bem como condições climáticas favoráveis à lavoura. As matas pluviais foram substituídas, inicialmente, por cafezais nos divisores de água do relevo e, nos vales fluviais, por pastagens e demais culturas. Atualmente predominam as culturas temporárias e a pecuária.

Nesse sentido, Torezan (2002, p.105) atesta que atualmente a paisagem é formada por pequenos fragmentos de matas, ocorrendo, de forma mais significativa, a presença de mata natural / secundária a oeste do rio Tibagi, entre 2% e 4% da área outrora ocupada por matas.

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BASE TEÓRICO-METODOLÓGICA

A partir da década de 1940, incrementou-se o desenvolvimento tecnológico e filosófico da Teoria Geral dos Sistemas. Em seu sentido estrito, essa teoria trata das propriedades e das leis dos sistemas e tem suas bases filosóficas no estruturalismo, fundado no século XX. Este substituiu as concepções de mundo mecanicista de Descartes e Newton, séculos XVII e XVIII, respectivamente, e organicista de Comte, século XIX, por uma concepção de sistemas de interações. Um sistema pode ser definido como um modelo consistente formado por um conjunto de elementos em interação (PASSOS, 2006, p.58; GOMES, 2003, p.87).

A análise sistêmica tem sido muito aplicada em estudos que envolvem bacias hidrográficas e processos hidrológicos. Entretanto, conforme Christofoletti (1980, p.1), uma das maiores dificuldades ao se considerar um dado fenômeno como sistema diz respeito à identificação dos elementos, seus atributos e suas relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema. Ressalta-se que o elemento é considerado a unidade básica do sistema. Dependendo do fenômeno investigado, o mesmo não estará restrito a um sistema isolado, ao contrário, fará parte de um conjunto maior – universo –, o qual compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos. As mudanças e o dinamismo do universo repercutirão no sistema focalizado.

Ao analisar um fenômeno de forma sistêmica, Christofoletti (1999, p.2) chama a atenção para os conceitos de unidade, totalidade e complexidade. Assim, a unidade representa a qualidade do que é único, constitui o componente indivíduo, entretanto pode ser identificada por um conjunto de elementos que tenham características em comum, por exemplo, as unidades areais ou os lugares.

A totalidade aplica-se às entidades constituídas por um conjunto de partes, as quais a interação denota uma composição diferenciada e específica. Em novo nível hierárquico, cada componente do todo apresenta características específicas, o que permite considerá-lo como unidade, mas analisá-lo como totalidade também.

Inerentemente à totalidade encontra-se a concepção de complexidade. Os sistemas complexos apresentam diversidade de elementos, encadeamentos, interações, fluxos e retroalimentação, conferindo uma entidade organizada. O estudo dos sistemas complexos ultrapassa a concepção mecanicista e linear dos sistemas. As bases filosóficas encontram-se no fato de que a maior parte da natureza é não linear, comportando-se como sistemas dinâmicos e caóticos.

Assim, Christofoletti (1999, p.3) assinala que é reconhecida de forma consensual a existência de sistemas complexos: sistemas físicos na evolução da matéria; sistemas biológicos na evolução dos seres vivos; sistemas sociais na evolução da sociedade e na economia. Ao lado destes, soma-se a existência de sistemas complexos expressos pelas organizações espaciais, os sistemas geográficos. Nestes, a espacialidade na superfície terrestre torna-se característica inerente e fundamental. Em decorrência disto, os subconjuntos que formam os sistemas geográficos também são considerados sistemas complexos, tais como: os sistemas ambientais físicos – geossistemas –, os sistemas socioeconômicos, os ecossistemas, os sistemas urbanos, os sistemas hidrológicos, os sistemas geomorfológicos, entre outros.

Quanto às formas de abordagem dos fenômenos, Christofoletti (1999, p.3) considera que a abordagem holística deva ser utilizada em detrimento da abordagem analítica ou reducionista, pois, naquela, procura-se analisar o fenômeno em seu conjunto. O fundamental é sempre estar ciente da totalidade do sistema abrangente, da complexidade que o caracteriza e de sua estruturação hierárquica. Esta concepção substitui aquela em que os subconjuntos do sistema eram analisados isoladamente para depois ser realizada uma síntese.

De acordo com Suertegaray (2005) e Mendonça (1997), a aproximação de estudos do meio físico geográfico a problemas de organização espacial, bem como estudo em escala local, tem-se constituído tendência atual na Geografia Física. Nesse sentido, a análise geográfica integrada tem sido considerada fundamental para a compreensão dos fenômenos investigados.

A esse respeito, Ross (2006, p.23) faz algumas considerações sobre dois importantes métodos de interpretação: a) Geossistema e b) Ecogeografia. Em comum, procuram inserir as atividades antrópicas na dinâmica dos sistemas

geográficos; nesse sentido, as atividades humanas interferem nos fluxos de energia e matéria nos geossistemas, em outros termos, atuam na ecodinâmica das paisagens. Para realizar uma análise geográfica integrada, alguns aspectos são valorizados por estes métodos, tais como: análise do processo histórico de ocupação e transformação dos lugares ou regiões; valorização das categorias território e paisagem; compreensão da influência dos fatores socioeconômicos sobre o ambiente natural**;** identificação da suscetibilidade de degradação do ambiente, entre outros.

Portanto, pretende-se desenvolver a pesquisa em questão sob o viés sistêmico integrado. A complexidade do sistema surge da tentativa de se integrar variáveis como:

- Dados de cotas altimétricas do nível do Rio Tibagi e do Reservatório de Capivara que permitam observar possíveis anomalias na variabilidade destes dados em escala diária, as quais poderão indicar influência do controle hidrológico da UHE Capivara;
- Variabilidade climática em escala interanual e decenal, tomando-se como base os fenômenos ENOS e a ODP e os índices climáticos relacionados a estes, a saber, IOS e índice ODP, na tentativa de verificar a influência destes nas vazões atípicas positivas;
- A morfologia do relevo, a qual será caracterizada em escala de detalhe, a fim de se mapear os locais atingidos pelas inundações.

O espaço geográfico da cidade de Jataizinho soma-se à complexidade do sistema investigado. Assim, pelo fato da população de Jataizinho ser atingida constantemente por eventos de inundação, procurar-se-á estabelecer se todas as ocorrências de inundações estão relacionadas diretamente com o Rio Tibagi ou se há situações em que ocorre alagamentos devido a precipitações intensas, em outras palavras, se o fenômeno se deve mais à organização do espaço geográfico do que à dinâmica hidrológica do Rio Tibagi.

Por fim, serão valorizados nesta análise integrada registros históricos, especificamente, matérias de jornais e registros da Defesa Civil de Jataizinho, os quais versam sobre a ocorrência de inundações na cidade. Vale destacar que estes registros apresentam uma gama de informações, como danos humanos e materiais causados pelas inundações, informações hidrológicas e informações climáticas e também relatos de moradores, estes entendidos como sujeitos pertencentes ao lugar e que vivenciam as mazelas dos eventos de inundação.

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1 Sistemas Fluviais

Bacia Hidrográfica e Funcionamento dos Sistemas Fluviais.

Em estudos hidrogeográficos, os fenômenos analisados devem ser interpretados levando-se em conta toda a bacia hidrográfica em questão. Isso porque os processos hidrológicos, bem como os processos climáticos conectados a estes, ocorrem de forma sistêmica. A entrada e a saída de energia e matéria, além dos processos existentes, abrangem toda a bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica – *drainage system* ou *watershed* – deve ser entendida como uma rede expandida de canais de escoamento ou como uma área drenada por determinado rio ou sistema fluvial (STRAHLER; STRAHLER, 2005, p.463; CHRISTOFOLETTI, 1980, p.102).

Desse modo, toda a bacia hidrográfica possui um padrão de drenagem, isto é, um arranjo espacial dos cursos fluviais. As variáveis que determinam este arranjo são de ordem geológica e geomorfológica, a saber: natureza e disposição das camadas rochosas, resistência litológica variável, diferenças de declividade e evolução geomorfológica da região (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.103).

O comportamento da vazão de cada rio é descrito através do regime hidrológico, o qual procura demonstrar a variabilidade da vazão de um rio em vários

e sucessivos anos e possui estreita relação com o regime pluviométrico, logo, com o clima. Dependendo da dimensão da Bacia Hidrográfica, principalmente, se sobre esta ocorrer diferentes tipologias climáticas, o regime hidrológico poderá ser diferenciado.

De acordo com Junk *et al.* (1989, p.113), o regime hidrológico dos rios reflete o clima da área de influência a montante. Canais de pequena ordem têm um padrão de inundação irregular com vários picos, devido ao fato de serem fortemente influenciados pela precipitação local. Esta influência, geralmente, diminui com o aumento do tamanho da Bacia Hidrográfica e é quase imperceptível na hidrogafia de rios muito grandes.

Pardê (1956 *apud* RADESCA, 1964, p.548) divide os regimes hidrológicos dos rios brasileiros em cinco grupos: a) regimes tropicais austrais, b) regime tropicais boreais alterados, c) regimes subequatoriais ou equatoriais, d) regimes subtropicais com duas estações de águas altas, e) regimes pluviais oceânicos – tipo temperado e f) regimes complexos e variáveis dos grandes rios.

Latrubesse *et al.* (2005, p.191), ao estudar alguns dos principais rios tropicais do mundo, destaca que, devido à grande complexidade dos climas tropicais e à grande extensão das bacias dos rios tropicais, é impossível estabelecer um único regime para os rios tropicais. Nesse sentido, muitos autores vêm propondo diferentes classificações de regime com base na distribuição das chuvas: rios alimentados no verão ou no outono, como os regimes pluvial, glacial e misto.

Após as considerações feitas acerca do regime hidrológico, deve-se destacar que a vazão de um canal fluvial muda ao longo do perfil longitudinal. De acordo com Leopold *et al.* (1964, p.248), os rios aumentam em tamanho a jusante, assim como os tributários aumentam a contribuição da área de drenagem e, portanto, a vazão. Concomitantemente, com o aumento a jusante da largura e da profundidade do canal e com uma tendência geral para a diminuição do tamanho das partículas de leito, o gradiente tende a aplainar. Geralmente, o perfil longitudinal é côncavo para o céu, entretanto pode apresentar algumas porções convexas. Ambos os rios que possuem perfil longitudinal côncavo indicam que a diminuição do gradiente a jusante depende muito do aumento da vazão.

Conforme Christofoletti (1981, p.93), o perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade ou gradiente, o qual procura representar visualmente a relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água para as diversas localidades situadas desde a nascente à foz. Leopold *et al*. (1964, p.250), por sua vez, asseveram que, ao longo do comprimento de um rio, o canal é ajustado por vários parâmetros. Essas variáveis são inter-relacionadas e destas inter-relações é derivada a relação de queda ou elevação da distância ao longo do canal, isto é, o perfil longitudinal.

As oito variáveis inter-relacionadas envolvidas na mudança de declividade a jusante e na mudança da forma do canal são: largura, profundidade, velocidade, declividade, carga de sedimento, tamanho dos detritos de sedimento, rugosidade hidráulica e vazão. Todas as variáveis são expressas como função da vazão, e as soluções resultantes podem ser comparadas com a geometria hidráulica dos rios (LEOPOLD *et al*. 1964, p.268).

O gradiente hidráulico, denominado por alguns autores apenas como gradiente, tem como objetivo indicar o grau de inclinação dos cursos d'água. Este parâmetro adimensional é definido pela razão entre o desnível (Δh) e a distância horizontal entre dois pontos A-B (ΔL). O desnível indica a diferença de potencial entre os pontos. Dessa forma, quanto maior a diferença de potencial, dada uma distância lateral constante, maior será a velocidade do fluxo (KARMANN, 2003, p.123; CHRISTOFOLETTI, 1980, p.113; STRAHLER; STRAHLER, 2005, p.460). O gradiente hidráulico é descrito através da equação 1.

$$i = \Delta h / \Delta L \qquad (1)$$

Além das condições de morfologia do canal que obrigam este a ajustar a vazão, ao longo do perfil longitudinal, as intervenções antrópicas no canal também podem provocar alterações no gradiente hidráulico e no regime hidrológico.

Assim, conforme Poff *et al.* (1997, p.772), dentre as modificações humanas impostas aos processos hidrológicos naturais, as barragens são consideradas as principais modificadoras diretas do fluxo do rio. Estas capturam ambos os fluxos, baixo e alto, visando ao controle de inundação, à geração de energia elétrica, à irrigação, a suprir as necessidades de água municipal, à manutenção dos níveis do reservatório para recreação e à navegação. Atualmente,

mais de 85% das vias navegáveis interiores, dentro dos Estados Unidos, são controladas artificialmente.

O represamento de água, por meio da construção de barragens, viabiliza o surgimento do fenômeno denominado remanso. Segundo ANA (2001), pode-se definir remanso como a elevação do perfil longitudinal da superfície da água de um rio acima do seu nível normal, devido à presença de uma obstrução artificial ou natural, ou, ainda, água represada ou retardada no seu curso em comparação ao escoamento normal ou natural.

O fenômeno remanso, ao forçar a elevação do nível linimétrico do rio, altera o seu gradiente e faz com que áreas adjacentes ao canal, ao longo de um trecho do perfil longitudinal, sejam submersas pela água. A área de estudo do presente projeto não é atingida diretamente pelo remanso do reservatório de Capivara, entretanto o objetivo da pesquisa será investigar se há algum efeito induzido do remanso para a ocorrência de inundações.

Nesse sentido, Leopold *et al*. (1964, p.259), argumentam que a mudança na elevação do nível de base poderá ser sentida a montante por alguma distância, dependendo do fluxo e das características do material subjacente. A mudança será transmitida a montante com uma alteração no gradiente. O efeito da mudança do nível de base imposto ao canal fluvial é um destes fenômenos sobre os quais é difícil obter prognósticos. Com isso, é instrutivo rever alguns dos resultados seguindo a imposição do novo ou artificial nível de base dos rios devido à construção de barragens.

Após o fechamento de uma barragem, água e sedimentos se acumulam no reservatório. O nível de base é aumentado em relação a sua posição antiga, isto é, o leito do canal, para o nível no qual a superfície da água do reservatório intercepta o leito original. A elevação máxima da superfície da água é a crista do vertedouro da barragem. Estudos indicam que o aumento do nível de base em reservatórios controla a deposição de sedimentos no sistema fluvial apenas até o nível no qual a curva de transição do remanso intercepta o perfil do leito do rio, todavia este não é somente um tipo de efeito notado. A situação parece que difere em rios com leito de cascalho, pois em alguns destes o efeito de uma barreira ou barragem é sentida a alguma distância a montante (LEOPOLD *et al.* 1964, p.259).

Com base nessas informações, é possível inferir que os níveis hidrométricos de um canal fluvial são alterados após a construção de uma barragem, e que pode existir, a alguma distância a montante dos reservatórios, algum efeito induzido dessas alterações de níveis. Mesmo o leito do rio Tibagi não sendo um leito de cascalho, mas, sim, um leito rochoso, há fortes indícios de que há um possível efeito induzido do remanso para a ocorrência de inundações na área de estudo. É justamente esta problemática, pouco discutida na literatura nacional e internacional, que será investigada nesta pesquisa.

Importância da Cobertura Vegetal e Implicações das Práticas de Uso da Terra Para a Ocorrência de Inundações.

A cobertura vegetal desempenha diversos papéis nos sistemas ecológicos: ecossistema, pedológico, geomorfológico, climático e hidrológico. Entende-se por ecossistema, conforme Moreira *et al.* (2013, p.15), um sistema formado por todos os fatores bióticos e abióticos que atuam simultaneamente em uma dada região. Os fatores bióticos dizem respeito às diversas populações de animais, plantas e micro-organismos; enquanto os fatores abióticos são externos aos fatores bióticos, a saber: a água, o sol, os fatores químicos e físicos do solo e o vento.

Nesse sentido, as plantas representam componente importante e ativo no ecossistema solo, pois o sistema radicular daquelas e a necromassa depositada sobre a superfície do solo – serapilheira – constituem o principal aporte de diversos compostos orgânicos que contribuem para a formação da matéria orgânica do solo. Esta, por sua vez, é responsável por nutrir os organismos heterotróficos – consumidores – e por possibilitar nichos de diversos organismos no solo (MOREIRA *et al.,* 2013, p.15).

Outro papel importante que a cobertura vegetal desempenha para o solo diz respeito ao fato de ela inibir o início do processo erosivo, isto é, o fenômeno de *splash.*

Conforme Guerra (2014, p.18), o *splash,* ou erosão de salpicamento, é entendido como o estágio mais inicial do processo erosivo, pois prepara as

partículas que compõem o solo para serem transportadas pelo escoamento superficial. Esta preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados quanto pela ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas do solo. Além disso, os agregados paulatinamente preenchem os poros da superfície do solo, o que provoca a selagem e, consequentemente, diminuição da porosidade e aumento do escoamento das águas.

Oliveira (2014, p.60), acrescenta que a compactação – selagem –, cria uma crosta superficial entre 0,1 mm e 3 mm de espessura, o que produz um potencial de redução da capacidade de infiltração entre 50% e 1000%, de acordo com as características do solo e com a energia da chuva.

Após o processo de *splash,* dependendo das condições de manejo do solo ou caso ocorra retirada extensiva ou total da cobertura vegetal, processos erosivos críticos poderão se instalar, como, por exemplo, ravinas, consideradas o ponto de partida do processo erosivo linear conforme Guerra (2014, p.35), e voçorocas. A velocidade de instalação destes processos erosivos também depende das características do solo.

A retirada da cobertura vegetal não somente contribui para a instalação de processos erosivos no solo, como, também, em conjunto com outras interferências antropogênicas, incide sobre a morfodinâmica dos relevos.

A respeito deste assunto, Guerra (2014, p.30) aponta que os movimentos de massa ocasionam impacto direto no uso da terra e podem, em algumas situações, constituir riscos à vida humana e às edificações. Concomitantemente, o impacto antropogênico sobre as encostas naturais é considerado o principal fator de influência sobre os processos, as formas e a evolução das encostas.

A cobertura vegetal também desempenha papel importante para o ciclo hidrológico. Martins (1976, p.48), ao tratar sobre o processo de infiltração da água no solo, assevera que, durante a precipitação, a cobertura vegetal densa favorece a infiltração, uma vez que dificulta o processo de escoamento superficial da água. Após a chuva cessar, a vegetação retira a umidade do solo através de suas raízes, possibilitando maior capacidade de infiltração no início das precipitações.

Poff *et al* (1997, p.773) aponta que as principais causas de alteração dos regimes de fluxo para muitos rios são as atividades de uso da terra, incluindo a extração de madeira, pastagem de gado, agricultura e urbanização, em vez da construção de barragens. A conversão de áreas florestadas ou pradarias para áreas agrícolas geralmente diminui a infiltração do solo e resulta em: aumento do fluxo de água sobre o solo, incisão do canal, isolamento da planície de inundação e erosão remontante dos canais.

Essas práticas de uso da terra, combinadas com a extensiva drenagem de planícies ou sobrepastoreio, reduzem a retenção de água nas Bacias Hidrográficas que, por sua vez, direcionam rapidamente o fluxo de água a jusante. Este processo provoca, por um lado, o aumento do tamanho e da frequência de inundação e, por outro, a redução do nível de fluxo de base durante o período de vazante (POFF *et al,* 1997, p.774).

De forma análoga, a urbanização e a suburbanização, associadas à expansão da população humana sobre a paisagem, criam superfícies impermeabilizadas que direcionam o escoamento da água subsuperficial para a superfície, isto é, sobre a superfície. Consequentemente, há o aumento da frequência e da intensidade das inundações, erosão de bancos e canais e declínio do fluxo de base durante o período de vazante. Além disso, a canalização de rios e a drenagem de planícies de inundação podem, atualmente, aumentar a magnitude de inundações extremas, devido à redução da capacidade de armazenamento de água a montante resultar em acelerada distribuição de água a jusante (POFF *et al.* 1997, p.774).

Enchentes, Inundações, Cheias e Alagamentos: Relacionamentos e Diferenciações Entre Estas Terminologias.

Sendo a ocorrência de inundações o cerne desta pesquisa, torna-se necessário fazer algumas considerações sobre os termos enchente, inundação, cheia e alagamento. Na medida em que a hidrologia atua na interface com a geomorfologia fluvial, compreender estas terminologias exige que sejam feitas considerações sobre a noção de débito ou estágio de margens plenas, tipos de leitos fluviais e planície de inundação.

Assim, Conforme Christofoletti (1980, p.69), a forma do canal reflete o ajustamento deste às vazões que fluem através de determinada seção transversal. Ao se considerar que o canal em rios aluviais resulta da ação exercida pelo fluxo sobre os materiais rochosos que compõem o leito e as margens, pode-se dizer que as dimensões deste canal serão controladas pelo equilíbrio entre as forças erosivas de entalhamento e os processos agradacionais que depositam material no leito e nas margens. Nesse sentido, o débito de margens plenas – *bankfull discharge* – assume grande importância geomorfológica, tendo em vista que é definido como a vazão que preenche, na medida justa, o canal fluvial, sendo que acima desta vazão verifica-se o transbordamento para a planície de inundação.

A esse respeito, Petts e Foster (1985, p.150) destacam que o quase equilíbrio da forma do canal fluvial reflete o ajustamento mútuo de todas as dimensões do canal, o qual viabiliza o transporte da carga de sedimento sob as condições de vazões prevalecentes. Deste modo, embora as dimensões dos canais fluviais possam ser influenciadas por um *range* de fluxos, uma vazão dominante, qual seja, a vazão das margens plenas, proporciona uma aproximação do trabalho para o comportamento do canal fluvial.

Entretanto, dificuldades geralmente surgem para a determinação em campo da precisa elevação do estágio de margens plenas, isto é, a junção canal – planície de inundação –, porque as formas das seções transversais raramente são simples ou uniformes, e os bancos podem não interceptar a planície de inundação em um ângulo acentuado. Vários critérios vêm sendo usados para ajudar a identificar os limites dos canais: características morfológicas, índices morfométricos estabelecidos com base na definição de índices mínimos de largura e profundidade, linhas de detritos de inundação e limites baixos de tipos de vegetação, os quais refletem as frequências da vazão (PETTS; FOSTER, 1985, p.150; CHRISTOFOLETTI, 1980, p.69).

Dessa forma, a importância geomorfológica do estágio de margens plenas decorre da premissa de que a forma e o padrão dos canais fluviais estão ajustados à vazão, aos sedimentos fornecidos pela bacia hidrográfica e ao material rochoso que compõem as margens (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.70).

Ao tratar sobre o significado e a importância das margens plenas, é relevante fazer algumas considerações sobre a fisiografia do canal fluvial,

especificamente em relação aos tipos de leitos do rio. Dessa forma, Cunha (2005, p.212) aponta que o leito fluvial corresponde ao espaço ocupado pelo escoamento das águas do rio, esse espaço varia conforme a frequência das vazões e a topografia dos canais fluviais. Devido a isso, no que se refere ao perfil transversal das planícies de inundação, o leito fluvial pode ser dividido em: leito de vazante, leito menor, leito maior periódico ou sazonal e leito maior excepcional.

O leito de vazante diz respeito à parte do canal ocupada durante o escoamento das águas de vazante. Inserido no leito menor, suas águas divagam dentro deste e seguem o talvegue, linha de máxima profundidade ao longo do leito, a qual tem a capacidade de ser a mais bem identificada, na seção transversal do canal. O leito menor equivale à parte do canal ocupada pelas águas, cuja frequência impede o crescimento da vegetação; tal leito, portanto, possui margens bem definidas. O leito maior, também denominado por leito maior periódico ou sazonal, é ocupado pelas águas pelo menos uma vez ao ano, durante as cheias. Dependendo do tempo decorrido para a elevação do nível das águas, é possível haver a fixação e o crescimento de vegetação herbácea. O leito maior excepcional é ocupado, ao longo das grandes cheias, no decorrer das enchentes; a frequência do escoamento das águas nesse tipo de leito possui intervalos irregulares, que podem se estender a dezenas de anos (CUNHA, 2005, p.212; CHRISTOFOLETTI, 1980, p.83).

Vale destacar que a existência dos diferentes tipos de leito, bem como as relações entre eles, pode variar de um canal fluvial a outro, ou mesmo de um setor a outro do mesmo rio. Por conseguinte, as delimitações são difíceis de serem traçadas, de modo que há maior nitidez entre o leito menor e o leito maior (CUNHA, 2005, p.212; CHRISTOFOLETTI, 1980, p.83).

Abordar os diferentes tipos de leitos fluviais exige compreender o significado e a gênese da planície de inundação. Desse modo Leopold; Wolman e Miller (1964, p.322) destacam que dois processos relacionados são provavelmente responsáveis pela formação da maioria das planícies de inundação dos grandes rios do mundo, a saber: deposição na parte interna das curvas dos rios e deposição decorrente de fluxos acima dos bancos – *overbank flow*. Como um rio move-se lateralmente, sedimento é depositado dentro ou abaixo do nível do estágio de margens plenas sobre o *point bar*; enquanto no estágio de transbordamento o

sedimento é depositado em ambos os *point bar* e sobre a planície de inundação adjacente.

A relativa quantidade de sedimentos na planície de inundação, resultante de depósitos laterais e acima dos bancos, varia dependendo das características da inundação de uma bacia e da disponibilidade e distribuição do tamanho dos sedimentos. Estima-se que entre 60% e 80% dos sedimentos em muitos canais são depositados por acreção lateral (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964, p.327).

Por definição, a deposição progressiva, tanto dentro do canal como sobre a planície de inundação, é um processo de agradação. Sob estas condições, a deposição acima dos bancos pode compreender a porção mais significante dos depósitos da planície de inundação (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964, p.327).

No cômputo geral, a planície de inundação é uma feição deposicional do vale do rio, associada a um clima particular ou regime hidrológico de uma Bacia Hidrográfica. Sedimento é temporariamente armazenado na planície de inundação, e, sob as condições de equilíbrio ao longo de um período de anos, a entrada líquida é igual à saída líquida. Uma alteração das condições de equilíbrio, através de mudanças tectônicas ou de mudanças do regime hidrológico – incluindo mudanças na produção de sedimento e de água –, resultará em alteração da planície de inundação e conduzirá para a degradação e formação de terraço, ou para agradação (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964, p.328).

Suguio (1998, p.608) aponta que a planície de inundação é composta por sedimentos mais finos em relação àqueles do canal fluvial e do dique natural ou marginal, e pode estar dissecada pelo leito atual do rio, formando vários níveis de terraços fluviais.

Feitas estas considerações, procurar-se-á, na sequência, mostrar as relações e as diferenças entre os termos: enchente, inundação, cheia e alagamento.

Suguio (1998, p.266) considera enchente como sinônimo de inundação. Para o autor a enchente seria a situação em que a água transborda dos leitos fluviais e canais artificiais, invadindo as terras baixas adjacentes. Pode ser produzida por excesso de precipitação – chuva ou neve –, sendo comumente anual ou ocorrendo, pelo menos, uma vez a cada dois ou três anos.

Villela e Mattos (1975, p.138) argumentam que a enchente se caracteriza por uma vazão relativamente grande de escoamento superficial; enquanto a inundação caracteriza-se pelo extravasamento da água pelo canal. Destaca-se que uma enchente pode não causar inundação, principalmente se forem construídas obras de controle contra este fenômeno. Por sua vez, mesmo que não ocorra grande aumento do escoamento superficial, poderá ocorrer inundação caso exista alguma obstrução no canal fluvial.

Para estudos que têm o objetivo de realizar a previsão de enchentes, Villela e Mattos (1975, p.138) consideram o fenômeno de enchente como a ocorrência de vazões relativamente grandes que, geralmente, causam inundações.

Em capítulo sobre o controle de enchentes e inundações, Villela e Mattos (1975, p.182) destacam que as principais causas pela ocorrência de enchentes são excesso de chuva e descarregamento de qualquer volume de água a montante. A última pode ocorrer devido à abertura brusca das comportas de um reservatório, ou ao rompimento da obra responsável pela retenção da água.

Villela e Mattos (1975, p.182), reforçam que uma enchente só causa inundação quando o volume da água transborda pelo canal, porém, destacam duas causas responsáveis pela inundação: a) excesso de chuva, de modo que o canal fluvial não suporte a vazão da enchente e b) uma obstrução a jusante da área inundada que impeça a passagem da vazão de enchente, por exemplo, um bueiro mal dimensionado que, ao não dar passagem à vazão de enchente, remanse o rio e cause inundação.

Outra causa de enchente e, possivelmente, de inundação diz respeito à construção de obras cuja finalidade é combater estes fenômenos em certa área, como, por exemplo, uma galeria de águas pluviais, ou o melhoramento de um trecho de um dado canal fluvial para evitar o trasbordamento. Os resultados destas obras, porém, deslocam o volume da água decorrente das enchentes, constituindo efeitos negativos para áreas a jusante, comumente menos valorizadas. Os autores também mencionam alguns métodos de combate às enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975, p.182).

Tucci; Hespanhol e Cordeiro Netto (2001, p.70) não deixam claro a diferença entre os termos enchente e inundação e parecem tratá-los como

sinônimos. Os autores estabelecem uma divisão entre: a) enchentes ribeirinhas e b) enchentes ampliadas pela urbanização.

As enchentes ribeirinhas ocorrem, principalmente, pelo processo natural de extravasamento do rio para o leito maior. Esse tipo de enchente ocorre, normalmente, em grandes bacias hidrográficas. Os impactos sofridos pela população decorrem, principalmente, devido à ocupação inadequada do espaço urbano (TUCCI, HESPANHOL; CORDEIRO NETTO, 2001, p.70).

As enchentes ampliadas pela urbanização, via de regra, ocorrem em bacias menores. As exceções dizem respeito às grandes regiões metropolitanas, como São Paulo, onde grandes extensões são afetadas pelo problema. Nas grandes bacias, a vazão da macrodrenagem é influenciada pela distribuição temporal e espacial das precipitações máximas. A tendência da urbanização é agravar a inundação de montante para jusante na macrodrenagem urbana. Esse processo ocorre por meio da sobrecarga da drenagem secundária – condutos –, sobre a macrodrenagem – riachos e canais que atravessam as cidades –, sendo as áreas a jusante as mais afetadas (TUCCI; HESPANHOL; CORDEIRO NETTO 2001, p.73).

Tucci (2004, p.621), ao fazer uma abordagem sobre o controle de enchentes, não deixa clara a diferença entre as terminologias enchente e inundação. Conforme o autor, quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à capacidade de drenagem deste, ou seja, da sua calha normal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas.

Em outra passagem, Tucci (2004, p.624) assevera que as medidas para controle de inundações podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais seriam aquelas que modificam o sistema fluvial, a fim de evitar os prejuízos decorrentes das enchentes; enquanto as medidas não estruturais dizem respeito àquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. O autor parece tratar como sinônimos os termos enchente e inundação, ou deixa implícita a definição de enchente. Para um leitor leigo no assunto, o entendimento torna-se um tanto difícil.

De acordo com USGS (2015), as inundações ocorrem sobre as planícies de inundação, quando precipitações prolongadas ao longo de vários dias, chuvas intensas durante um curto período de tempo ou um congestionamento de

detritos nos canais fluviais provocam o transbordamento de rios ou córregos, inundando áreas adjacentes a estes. As inundações repentinas – *flash floods* – ocorrem em período de seis horas, durante um dado episódio de chuva ou após falha em uma dada represa ou dique, de maneira que estes eventos podem atingir as pessoas sem tempo hábil para que se protejam.

Martins (1976, p.38), ao definir a vazão como sendo o volume de água escoado na unidade de tempo em uma determinada seção do rio, expresso em m^3/s o l/s, chama a atenção para os termos vazões normais e vazões de inundação. O primeiro refere-se às vazões que escoam no curso d'água; enquanto o segundo abarca as vazões que excedem a capacidade normal das seções de escoamento do curso d'água ao ultrapassar um valor-limite.

Dalrymple (1964, p.2), especificamente no capítulo vinte e cinco, assevera que a inundação é um fluxo relativamente alto que ultrapassa os bancos naturais ou artificiais em trecho de um dado rio. Quando estes bancos são ultrapassados, a água se espalha sobre a planície de inundação e, geralmente, entra em conflito com o Homem. Desde que a planície de inundação seja um local desejável para o Homem e para o desenvolvimento de suas atividades, é importante que as inundações sejam controladas para que os danos causados não excedam uma quantidade aceitável. O autor faz, ainda, considerações importantes sobre a implantação da rede de estações fluviométricas, nos Estados Unidos, e sobre o papel desempenhado pela *U.S Geological Survey,* em conjunto com outras agências, acerca dos estudos sobre inundações neste país.

Em linhas gerais, Dalrymple (1964, p.2) aponta que as inundações podem ser mensuradas de diferentes maneiras, como pela altura, área inundada, pico de vazão e volume de fluxo. A altura de inundação é de interesse para aqueles que planejam construir estruturas, ao longo ou através dos rios e córregos; a área inundada é de interesse para aqueles que planejam ocupar, de alguma maneira, a planície de inundação adjacente ao rio ou ao córrego; o pico de vazão é de interesse para aqueles que projetam vertedouros, pontes, bueiros e canais de inundação; enquanto o volume de fluxo é de interesse para aqueles que projetam obras de armazenamento para irrigação, bombeamento de água e controle de inundação.

Isto posto, Dalrymple (1964, p.2) argumenta que a altura de uma inundação pode ser mensurada em um ponto, como em uma estação situada em

local fixo ou em trecho definido, através de um perfil de um ou ambos os bancos do canal. A área inundada é mensurada pela delimitação da borda da água sobre um mapa, geralmente essa área é definida através do desenvolvimento de perfis de inundação ao longo de cada banco. O pico de vazão é mensurado em termos de taxa de tempo, por exemplo, m^3/s. O volume de fluxo comumente é mensurado em m^3/dia. O autor detalha cada um destes métodos, tornando a leitura desta obra indispensável para aqueles que trabalham com inundação.

Guerra e Guerra (2003, p.29) consideram inundação como sinônimo de alagado e a caracterizam como uma área inundada logo após a enchente. Os autores, a exemplo de outros, não deixam clara a diferença entre inundação e enchente.

No que diz respeito à terminologia cheia, Villela e Mattos (1975, p.104) e Martins (1976, p.40), ao tratarem sobre a análise de hidrogramas, apontam que, após o início da precipitação e uma vez excedida a capacidade de infiltração da água no solo, inicia-se o escoamento superficial direto. Depois de determinado tempo, a vazão em uma seção transversal de um dado canal fluvial aumenta até atingir um máximo, momento que representa a contribuição de toda a bacia hidrográfica[1].

Dessa forma, é possível atribuir a noção de cheia a este máximo da vazão, mesmo Villela e Mattos (1975, p.104) e Martins (1976, p.40) não tendo deixado isso explícito. Esta ideia é reforçada pelo fato de os autores, na sequência das obras, fazerem uma discussão sobre a classificação dos tipos de cheias. Destaca-se que, os autores fazem referência não apenas ao pico máximo de vazão, mas, também, a outros fenômenos que podem ser identificados em um hidrograma, após o início de uma chuva. Villela e Mattos (1975, p.104) definem hidrograma ou hidrógrafa como a representação gráfica da variação da vazão em relação ao tempo.

A terminologia cheia também aparece junto à noção de regime hidrológico, o qual pode ser entendido como a variação mensal da vazão ao longo de vários anos e, nesse sentido, possui relação direta com a variabilidade do clima. Além do fator clima, variações ou mesmo mudanças no regime hidrológico podem

[1] De acordo com o Prof. Dr. Marcelo Latuf, a vazão de pico está relacionada ao tempo de concentração – Tc – e não à contribuição de toda à bacia hidrográfica (Informação Verbal).

ser decorrentes de atividades antrópicas, tanto no canal fluvial como na bacia hidrográfica.

Considerações acerca do termo regime hidrológico foram feitas anteriormente. Cabe apenas ressaltar que o regime hidrológico dos rios tropicais tende a apresentar um período de águas altas, denominado por cheia, e um período de águas baixas, chamado de vazante. Esta variação do regime hidrológico, não apenas da vazão, mas também da cota fluviométrica, é responsável por mudanças na organização do espaço geográfico de muitas comunidades ribeirinhas. Também é responsável por mudanças na organização das comunidades aquáticas do sistema rio-planície de inundação. Do ponto de vista ecológico, o período de cheia denomina-se potamofase e o período de vazante, limnofase.

Com relação à terminologia alagamento, esta não foi encontrada em nenhuma das obras consultadas, as quais pertencem a autores importantes, vinculados à geomorfologia fluvial e à hidrologia. O termo alagamento, portanto, parece ser empregado sob duas perspectivas: a) possui um caráter mais genérico, o qual pode ser empregado para descrever qualquer área alagada e b) é empregado para descrever áreas que foram alagadas em decorrência de chuvas intensas, geralmente áreas urbanas, cujo escoamento superficial tende a ser aumentado devido a maior área impermeabilizada.

Entretanto, do ponto de vista técnico, BRASIL (2012) apresenta a Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE –, em que inundações, enxurradas e alagamentos são entendidos como fenômenos de desastres naturais do tipo hidrológico. Ressalta-se que, neste documento, é abordada a terminologia enxurrada que até então não havia sido discutida, e também são apresentadas melhores explicações sobre o termo alagamento.

BRASIL (2012) argumenta, então, que a inundação pode ser compreendida como submersão de áreas fora dos limites normais de um canal fluvial, em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre gradualmente, geralmente ocasionado por precipitações prolongadas em áreas de planície.

Quanto a enxurrada, BRASIL (2012) aponta que esta deve ser entendida como escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por

precipitações intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias hidrográficas de relevo acidentado. Denota elevação súbita das vazões de determinado canal fluvial e transbordamento brusco da calha fluvial; e, por conta destes fatores, apresenta grande poder destrutivo.

Acerca do termo alagamento, BRASIL (2012) entende este como extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana, fato que propicia o acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Do que foi exposto, verifica-se que a forma e as dimensões de um canal fluvial refletem o ajuste deste à vazão de margens plenas. Esta pode ser definida como a vazão que preenche, na medida certa, o canal fluvial, sendo que, acima desta vazão, ocorre o transbordamento das águas para a planície de inundação. A planície de inundação pode ser entendida como uma feição deposicional do vale do rio, a qual está associada a um clima particular ou regime hidrológico de uma Bacia Hidrográfica. Sujeita à variabilidade climática, a vazão ora ocupa mais espaço, ora ocupa menos espaço do leito fluvial. Este aspecto permite subdividir o leito fluvial em quatro diferentes tipos: leito de vazante, leito menor, leito maior e leitor maior excepcional, estando o primeiro relacionado à vazão e ao nível mais baixo, e último relacionado à vazão e ao nível mais alto do canal fluvial.

Considera-se nesta pesquisa que a enchente corresponde ao aumento da vazão em uma seção transversal de um rio, ou uma fase de enchimento do rio, com potencial capacidade em suscitar inundação. A inundação, por sua vez, refere-se ao transbordamento da água do leito menor para o leito maior do rio. Nesse sentido, para a análise de ocorrência de inundações, faz-se necessário estabelecer com segurança o limite entre a vazão de enchente e a vazão de inundação, ou em outras palavras, a cota de transbordamento de água do rio. A enchente, portanto, pode ou não suscitar uma inundação, sendo este um fenômeno posterior àquele.

Ao analisar uma hidrógrafa ou um hidrograma, a cheia equivale à vazão máxima de uma seção transversal de um rio após o início de uma precipitação. Sendo a hidrógrafa a representação gráfica da variação da vazão em relação ao tempo, esta permite observar, também, os fenômenos de enchente e

inundação. A cheia pode ou não coincidir com a vazão de inundação, não sendo isso uma regra geral.

Sob outra perspectiva, especificamente quando é feita a análise do regime hidrológico de um rio, a cheia pode ser entendida como sinônimo de águas altas, isto é, período em que a vazão e a cota fluviométrica do rio encontram-se mais elevadas. Sob este ponto de vista, as águas dos rios transbordarão com mais frequência para o leito maior do canal fluvial, ou permanecerão, por algum período, acima da cota de transbordamento do rio, cobrindo extensas planícies de inundação.

Com relação aos alagamentos, estes estão associados principalmente às áreas urbanas, cujo processo responsável por estes fenômenos decorre da associação entre: precipitação intensa; impermeabilização de grandes áreas; acréscimo de grande volume das águas dos condutos – galerias pluviais –; macrodrenagem urbana; deficiência da limpeza urbana que ocasiona a obstrução de bueiros por galhos, folhas e lixo. Em suma, todos esses fatores contribuem para que ocorra extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana, fato que propicia o acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Estudos Hidrológicos Aplicados.

Muitos estudos têm sido feitos com o intuito de se entender os relacionamentos hidrogeográficos. Parte considerável destes relacionamentos, dado o grau de complexidade entre variáveis hidrológicas, tem sido realizada por meio de modelos hidrológicos. Embora não seja objetivo da presente pesquisa construir um modelo hidrológico, o levantamento bibliográfico de pesquisas desta natureza irá contribuir para a escolha das variáveis hidrológicas, a fim de se realizar o relacionamento hidrométrico proposto.

Deste modo, destaca-se o trabalho de Umetsu (2004), o qual procura demonstrar o efeito de barragem sobre a inundação em matas ripárias. O objetivo principal foi verificar a existência de uma relação entre a distribuição da vegetação e a inundação lateral do Rio Cuiabá – MT. As cotas altimétricas conhecidas na estação fluviométrica foram utilizadas como base para determinar o

nível de água na área de estudo a montante. Nessa etapa, foram utilizadas equações hidrológicas e o *software* HEC-RAS 3.1.1 – U.S. *Army Corps of Enginners.*

Pinheiro e Morais (2010) realizaram estudo visando à investigação das interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do Rio Catú, no Estado do Ceará. O impacto das intervenções na vazão fluvial, com foco nos barramentos, foi simulado com uso de modelos e equações semi-empíricas, em função da ausência de estações de monitoramento fluviométrico. O trabalho abordou, principalmente, os impactos que a construção da barragem ocasionou a jusante, isto é, no estuário: redução de vazão em 36%, aumento da sedimentação e hipersalinização das águas.

Groppo *et al.* (2009) procuraram analisar o efeito da operação das barragens do Sistema Cantareira, São Paulo, no regime hidrológico do Rio Piracicaba. Segundo os autores, o comportamento hidrológico dos principais rios dessa bacia foi profundamente modificado a partir da implantação do Sistema Cantareira pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, responsável pela reversão interbacias de 31 m^3/s para abastecer a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. No cômputo geral, os resultados mostraram que houve um decréscimo nas vazões máximas e mínimas nos rios que estão sob a influência do Sistema Cantareira e um acréscimo nas vazões do rio sem a influência, acompanhando a tendência da precipitação. O trabalho mostrou-se extremamente importante no que diz respeito à mudança de regime fluviométrico provocado por barragens.

Araújo e Rocha (2010) analisaram o comportamento interanual do regime de débitos do rio Tibagi. Para o entendimento das características das vazões médias anuais e suas variações, foi aplicado o índice *condição hídrica da bacia hidrográfica* (CHid), que classifica as vazões anuais em: muito seca, seca, média, úmida e muito úmida, de acordo com a literatura pertinente. A variabilidade do regime anual da bacia do rio Tibagi, ao longo da série histórica, mostrou que houve aumento dos débitos após a década de 1970.

Compreender a variabilidade das vazões dos rios é etapa importante nas pesquisas hidrológicas, pois permite observar se esta variabilidade apresenta tendência significativa, tanto positiva, como negativa, ou ausência de tendência; ademais, permite observar mudanças bruscas dos dados que indiquem a existência

de períodos hidrológicos distintos, e, assim, levantar hipóteses sobre a gênese destas rupturas.

Os testes de Pettitt e Mann-Kendall são aplicados com frequência em séries temporais de dados hidroclimáticos para avaliar, respectivamente, a existência de rupturas dos dados e o nível de significância das tendências destes. Dentre alguns estudos que utilizam tais testes em séries temporais de precipitação, vazão, carga de sedimento e escoamento superficial, podem-se citar Moraes *et al.* (1998), Liu *et al.* (2010), Caloeiro *et al.* (2011), Zhang *et al.* (2007), Yang e Tian (2009), Mu *et al.* (2007), Gao *et al.* (2012) e Debortoli *et al.* (2012).

3.2.2 Escalas, Teleconexões e Variabilidade Hidroclimática

As Escalas de Análise do Clima.

Estando o regime hidrológico relacionado ao clima, especificamente, à variabilidade das chuvas, algumas considerações sobre as escalas climáticas devem ser feitas.

As escalas geográficas do clima não devem ser entendidas apenas como escalas espaciais e temporais, mas, também, como escalas de processos, ou seja, de dinâmica. Desse modo, as escalas de processo do clima podem ser classificadas em três níveis: a) mudança, b) variabilidade e c) ritmo.

Segundo Sant'Anna Neto (2013, p.75), a duração, a velocidade e a extensão dos processos climáticos associam-se ora ao tempo longo, ora ao tempo curto. O tempo longo é definido pela escala geológica de processos, os quais duram milhares ou milhões de anos. Nessa escala, processos imbricados de origem astronômica, geofísica e geológica – isto é, processos globais – podem modificar o clima em escala zonal. Entretanto, podem também atuar apenas na escala da variabilidade, ou seja, variações cíclicas no tempo histórico. Desse modo, a dimensão temporal das escalas globais permite duas formas de abordagens: a) paleoclimática, aquela vinculada às mudanças climáticas e b) variações em períodos de tempo mais curtos.

Por sua vez, o tempo curto relaciona-se diretamente ao tempo histórico, às variações do clima. Nesta escala, as forçantes terrestres e astronômicas se associam com as atividades antrópicas, entendidas como agentes de transformação das paisagens e modificadores dos ambientes. Em verdade, as interações entre ambos se tornam mais complexas e de difícil determinação. Podem, portanto, assumir duas dimensões: a) regional, quando apenas partes da superfície terrestre sofrem variações climáticas determinadas por variações cíclicas ou por transformações antrópicas de grande extensão – ressalta-se que, nesta escala, há grande interação entre os fatores geográficos e a organização do espaço – e b) local, que depende das modificações impostas às paisagens e das influências urbanas nos microclimas, que tendem a particularizar estas áreas – nessa última dimensão, é possível identificar os tipos de tempo e o ritmo climático, muito associados à produção do espaço e às formas urbanas e rurais (SANT'ANNA NETO, 2013, p.77; MONTEIRO, 1999, p.17).

Teleconexões e Variabilidade Hidroclimática.

A dinâmica da circulação atmosférica apresenta grande variabilidade. Essa variabilidade é observada nos padrões de sistemas sinóticos e de circulação que ocorrem em diferentes escalas temporais, desde alguns dias, com tempestades e passagens de frentes; a algumas semanas, com períodos mais quentes no inverno ou períodos mais secos no verão; a alguns meses, com invernos mais frios ou verões mais quentes; a alguns anos, com invernos ou verões atípicos ao longo de vários anos seguidos; ou até vários séculos, com mudanças climáticas de longo período (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p.317).

Por vezes, a variabilidade climática de certa região do globo é decorrente de anomalias de fatores climáticos provenientes de outra região do planeta Terra. Reside nesse ponto, o princípio da teleconexão. Assim, a palavra teleconexão significa conexão a distância e, na ciência meteorológica, procura explicar como anomalias que ocorrem em uma dada região se associam a anomalias em regiões remotas. Em termos conceituais, a teleconexão procura demonstrar um padrão recorrente e persistente de anomalias de uma variável

climática, ou, ainda, procura expressar modos preferenciais de variabilidade (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p.318).

Nesse sentido, os autores asseveram que:

> [...]O termo “padrão de teleconexão”, ou simplesmente “teleconexão”, refere-se a um padrão recorrente e persistente de anomalias de uma determinada variável, por exemplo, pressão e circulação de grande escala, que cobre vastas áreas geográficas. Padrões de teleconexão são também conhecidos como modos preferenciais de variabilidade de baixa frequência. Embora esses padrões possam persistir por várias semanas ou meses, algumas vezes eles podem se tornar dominantes por vários anos consecutivos e, dessa forma, mostram uma parte importante da variabilidade interanual e interdecenal da circulação atmosférica (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p.318).

O escopo do trabalho não demanda uma discussão sobre os vários padrões de teleconexão identificados no globo; por esse motivo, será dada ênfase aos padrões de teleconexão que afetam a dinâmica da circulação atmosférica do Brasil, principalmente em relação ao regime de chuvas na região meridional. Vale destacar que a escala temporal dos padrões de teleconexão pode ser dividida em variabilidade intrassazonal, variabilidade interanual e variabilidade decenal a multidecadal. Pode-se dizer que os dois primeiros tipos são entendidos por variabilidade de alta frequência; enquanto o último é considerado variabilidade de baixa frequência. Devido aos objetivos propostos neste trabalho, priorizar-se-á fenômenos com variabilidade interanual e variabilidade decenal.

Variabilidade climática interanual e seus reflexos sobre o Brasil.

O ENOS é considerado a principal fonte de variabilidade climática interanual do globo, incluindo, portanto, o Brasil. Nesse sentido, a Oscilação Sul é considerada uma das principais anomalias de circulação global da atmosfera, trata-se de uma espécie de gangorra barométrica sobre o Oceano Pacífico, considerado o maior oceano do planeta Terra. Dois centros de ação principais atuam nessa mudança do gradiente de pressão: um sobre a Indonésia e o norte da Austrália e o outro sobre o Pacífico Oriental, próximo à costa oeste da América do Sul (GRIMM, 2009, p.353; MOLION, 1989, p.24).

As anomalias que caracterizam este fenômeno decorrem de uma complexa interação entre oceano e atmosfera. Assim, as águas próximas à

Indonésia e o norte da Austrália tendem a ser mais quentes. Essa característica favorece a existência de pressões mais baixas e, por conseguinte, maior convecção e precipitações mais abundantes. No processo de convecção, o ar ascende aproximadamente até 10 km de altitude, e, a partir deste ponto, o ar se desloca para o Pacífico Central e para o Pacífico Oriental. Nesse processo de divergência em altitude, o ar passa progressivamente a realizar um processo de convergência, em que ocorre sua subsidência ou descida em direção a superfície, aumentando a pressão atmosférica nas áreas do Pacífico Central e do Pacífico Oriental. A esta célula de circulação atmosférica, dá-se o nome de Célula de Walker (MOLION, 1989, p.24).

Quando esta célula não está em seu padrão habitual de circulação, verificam-se anomalias, denominadas Oscilação Sul. Em termos quantitativos, a Oscilação Sul é estimada pelo Índice Oscilação Sul – IOS (*Southern Oscillation Index – SOI*) que expressa a intensidade de sua fase positiva ou negativa. O cálculo do IOS é obtido com base na diferença dos desvios de pressão atmosférica ao nível do mar (PNM ou *Sea Level Pressure – SLP*) registrados nas estações meteorológicas de Darwin e Taiti, localizadas, respectivamente, no norte da Austrália e no Pacífico Oriental. Em outros termos, o IOS é obtido através das pressões normalizadas, de modo que o resultado final é obtido pela subtração da PNM de Taiti pela PNM de Darwin (MOLION, 1989, p.24).

Quando ocorre a intensificação, tanto das altas pressões no Pacífico Oriental, como das baixas pressões na Indonésia, instala-se a fase positiva da Oscilação Sul. Nessas condições, há a intensificação dos movimentos ascendentes de ar e o aumento da atividade convectiva e, desta forma, o aumento das precipitações sobre a Indonésia e o norte da Austrália. Simultaneamente, há o aumento da atividade convectiva sobre a Amazônia e o nordeste brasileiro. Por sua vez, a Célula de Hadley, isto é, a componente meridional de circulação troposférica entre as regiões equatoriais e tropicais, tem seu movimento de ar descendente intensificado sobre o Pacífico Centro-Oriental e sobre todo o Atlântico Subtropical, fato que aumenta a pressão atmosférica em nível do mar. Em escala regional, na América do Sul, o aumento da pressão atmosférica é percebido sobre o sudeste e o sul do Brasil, sobre o Paraguai, sobre o Uruguai e sobre o centro-norte da Argentina. Este processo, então, realiza dois trabalhos: a) diminui os movimentos convectivos, logo diminui as precipitações sobre essas áreas e b) intensifica os ventos alísios de

sudeste, os quais retornam para a zona equatorial. Consequentemente, há acentuado transporte de águas na direção oeste, fato que viabiliza o fenômeno de ressurgência, o afloramento de águas mais frias desde a costa oeste da América do Sul até o Pacífico Central. Essas condições de circulação atmosférica refletem o comportamento do fenômeno denominado por *La Niña* (MOLION, 1989, p.24-27).

A ocorrência da fase negativa da Oscilação Sul, por sua vez, decorre do enfraquecimento das pressões atmosféricas, tanto na Indonésia e norte da Austrália, como no Pacífico Ocidental. Sob estas condições, o gradiente de pressão diminui e, consequentemente, os ventos alísios de sudeste enfraquecem. Por conta disso, o processo de ressurgência diminui (MOLION, 1989, p.25).

Paralelamente, há a ocorrência de novos fenômenos, dentre os quais um é interno ao oceano, denominado por ondas Kelvin. Estas deslocam-se rapidamente do Pacífico-Ocidental para o Pacífico Oriental e ocasionam um brusco aquecimento das águas de superfície próximas à costa oeste da América do Sul. Instala-se, então, um novo padrão de circulação da Célula de Walker, no qual há grande convecção de ar e o deslocamento desse sobre as águas anomalamente aquecidas (MOLION, 1989, p.25).

O consequente processo de subsidência do ar atinge tanto a Austrália e a Indonésia quanto a Amazônia e o nordeste brasileiro, o que determina a escassez de chuvas, uma vez que as altas pressões instaladas sobre estes locais inibem os processos dinâmicos responsáveis pela formação de chuvas. Esta atipicidade na circulação atmosférica recebe o nome de *El* Niño, femômeno responsável pelo aquecimento anômalo das águas do Pacífico, próximo à costa do Peru (MOLION, 1989, p.25).

De acordo com Soares *et al* (2014), os fenômenos *El Niño* e *La Niña* possuem um intervalo de recorrência entre 3 e 7 anos. Todavia, de um evento ao outro, o intervalo pode variar entre 1 e 10 anos. As intensidades dos eventos variam em cada caso; a partir do início das observações da Temperatura da Superfície do Mar – TSM, observou-se que O *El Niño* mais intenso ocorreu em 1982 e 1983 e 1997 e 1998.

A gênese do ENOS, até o momento, não foi esclarecida pelos cientistas. É consenso geral que o ENOS decorre da interação de processos entre o oceano e a atmosfera, entretanto, a causa primária da mudança das duas fases ainda não foi identificada. Os fatos indicam que, provavelmente, há uma causa

externa ao sistema que desencadeia a mudança no padrão de circulação da atmosfera.

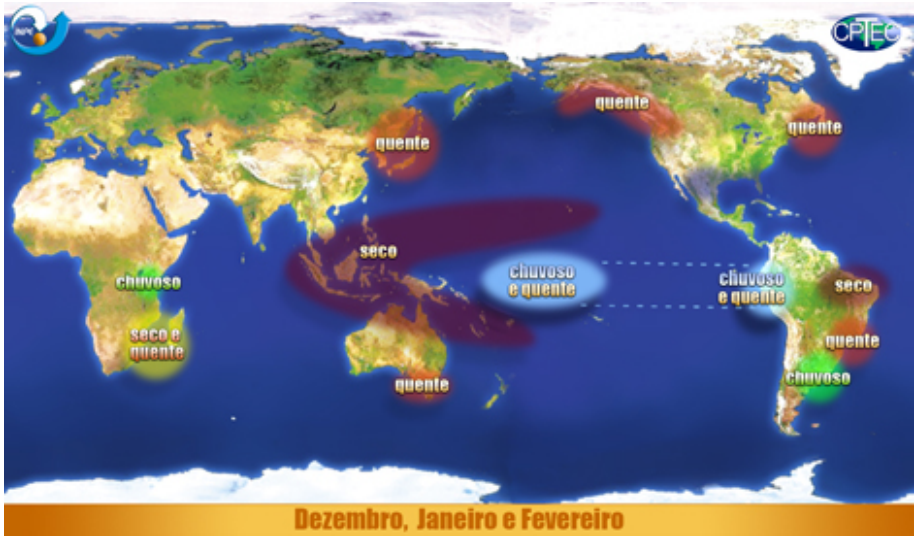
Desse modo, duas hipóteses são apontadas por Molion (1989, p.26). A primeira aponta que o ENOS decorre de pequenas variações no movimento de rotação da Terra, e já foi observada pelos cientistas uma relação entre fortes ENOS e um ligeiro aumento no comprimento do dia, aproximadamente três milissegundos. A segunda relaciona a ocorrência do ENOS às atividades vulcânicas no fundo do oceano ou a outros processos relacionados à Cadeia Mesooceânica do Pacífico. Assim, as águas demorariam, aproximadamente, 15 dias para emergir e aumentar a temperatura das águas superficiais do oceano. O aquecimento delas, então, atuaria na atmosfera desencadeando todo o processo.

Com relação à fase negativa da Oscilação Sul, especificamente acerca da ocorrência do *El Niño*, Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.191) apontam, além das atividades vulcânica no fundo do oceano, mais três hipóteses: a) o *El Niño* é interno ao próprio Oceano Pacífico, b) a origem do fenômeno é externa ao Oceano Pacífico, pois, quando ocorre o *El Niño*, verificam-se anomalias de pressão em altitude e c) o *El Niño* estaria ligado aos ciclos solares de 11 anos.

Considerado um fenômeno de escala global, o *El Niño* – Oscilação Sul afeta a circulação atmosférica da Terra. As perturbações climáticas podem ser evidenciadas em todo o globo e interferem severamente nas atividades humanas. Em síntese, a fase negativa da Oscilação Sul, quando há ocorrência do *El Niño*, está associada a períodos secos na zona intertropical e quentes e úmidos nas zonas extratropicais. Por sua vez, a fase positiva, quando há ocorrência da *La Niña*, está associada aos eventos opostos: períodos úmidos nos trópicos e frios e secos nas zonas extratropicais. No Brasil, devido a dimensão continental, é possível observar ambos os reflexos impostos por este fenômeno: nos anos de *El Niño,* tem-se secas na Amazônia e no Nordeste e excesso de chuvas no Sul e Sudeste*;* e o oposto nos anos de *La Niña*, excesso de chuvas na Amazônia e Nordeste e secas no Sul e Sudeste (MOLION, 1989, p. 28).

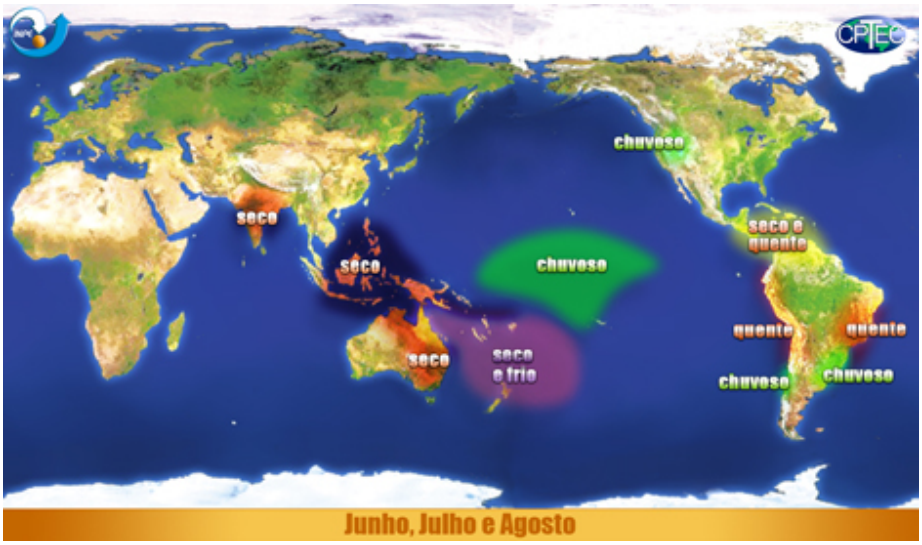
Com base em Brasil (2014), as perturbações climáticas decorrentes da atuação do *El Niño* e da *La Niña* em escala global nos trimestres de verão e inverno podem ser observadas nas (Figura 5), (Figura 6), (Figura 7) e (Figura 8).

Figura 5. Comportamento do *El Niño* no trimestre de verão.



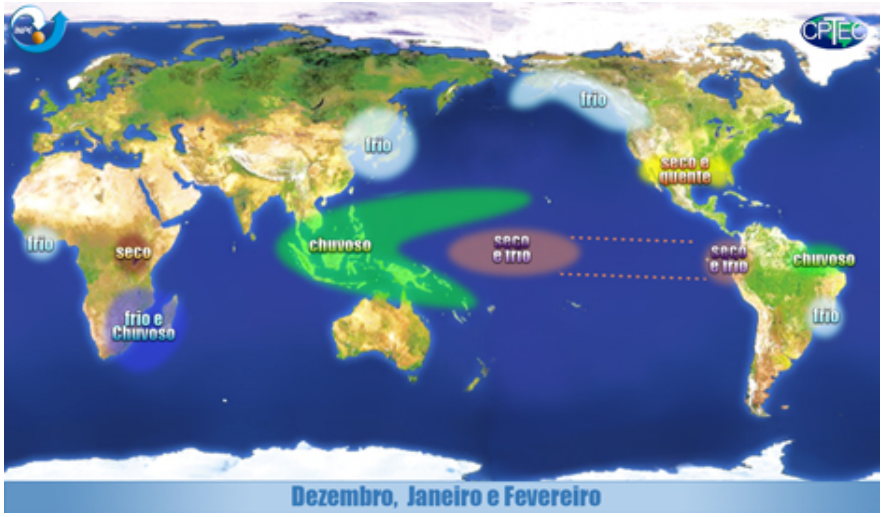
Fonte: BRASIL (2014), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC.

Figura 6. Comportamento do *El Niño* no trimestre de inverno.



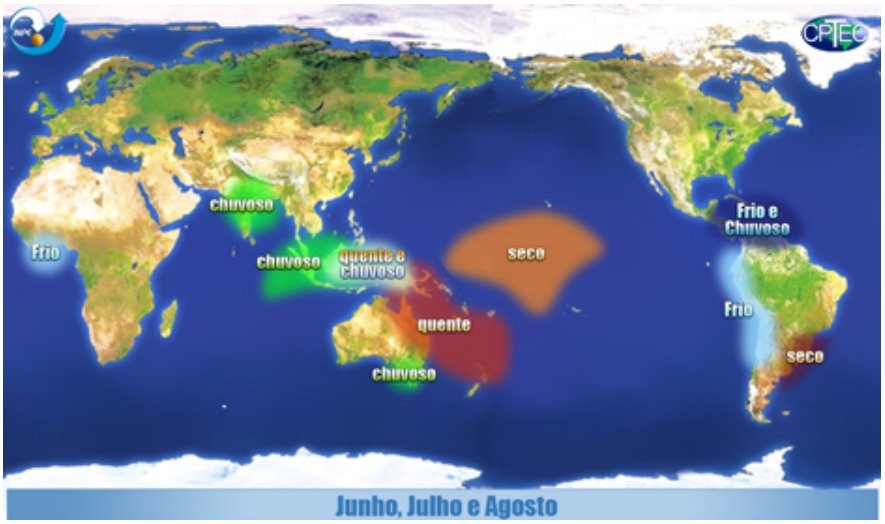
Fonte: BRASIL (2014), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC.

Figura 7. Comportamento da *La Niña* no trimestre de verão.



Fonte: BRASIL (2014), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC.

Figura 8. Comportamento da *La Niña* no trimestre de inverno.



Fonte: BRASIL (2014), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC.

Acerca dos padrões de teleconexão do hemisfério norte, a Oscilação do Atlântico Norte – OAN merece ser destacada, pois esta influencia o clima na região nordeste do Brasil. Portanto, os dois centros de ação associados à OAN são a Baixa da Islândia ou Groenlândia e a Alta dos Açores ou Alta Subtropical do Atlântico Norte - ASAN. Quando estes dois centros de ação estão mais intensos que o normal, a oscilação encontra-se na fase positiva, e, quando os dois centros de

ação estão enfraquecidos, a oscilação encontra-se na fase negativa. Na fase positiva, verifica-se intensificação dos ventos de oeste nas latitudes média e dos ventos alísios nas latitudes tropicais. Os reflexos são inverno ameno e chuvoso sobre o norte da Europa e seca no Mediterrâneo. Na fase negativa, verifica-se o oposto, isto é, inverno chuvoso no Mediterrâneo e seca no norte da Europa. Estudos mostram que a OAN pode influenciar o regime de chuvas na região nordeste do Brasil, uma vez que anomalias na Alta dos Açores, a qual participa da dinâmica climática desta região, podem influenciar a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e, consequentemente, o regime de chuvas sobre o nordeste do Brasil (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p.320).

Grimm (2009, p.355) analisou a variabilidade interanual do clima do Brasil, na qual o ENOS é tido como principal modulador da variabilidade das precipitações. Será dada ênfase para os resultados referentes à variabilidade da precipitação, embora outras variáveis climáticas tenham sido analisadas pela autora.

No que diz respeito aos totais anuais de precipitação, constatou-se anomalias positivas (negativas) de precipitação durante *La Niña* (*El Niño)* no norte/nordeste do Brasil, e anomalias negativas (positivas) ao sul de 20º S, sobre o sul do Brasil. Um segundo modo de variabilidade foi verificado sobre o centro-leste dos Brasil, nas proximidades da posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS. Neste caso, as variações opostas entre o norte e o sul do Brasil são de menor magnitude. Com relação às anomalias de TSM, estas seguem o padrão apontado na literatura: quando a TSM do Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste fica mais quente que o normal, tem –se o *El Niño*, quando mais fria, tem-se a *La Niña* (GRIMM, 2009, p.355).

Do ponto de vista sazonal, foram observadas variações no regime de chuvas quando há ocorrência do ENOS. No outono, as anomalias das duas fases e as anomalias de TSM são semelhantes ao padrão de variabilidade das precipitações totais anuais, como visto anteriormente. Contudo, a variabilidade da precipitação no Nordeste está relacionada não apenas a anomalias da TSM do Oceano Pacífico, mas também a anomalias do Oceano Atlântico. Dessa maneira, o gradiente anômalo de TSM entre o Atlântico Tropical Norte – ATN e o Atlântico Tropical Sul – ATS é apontado como a principal influência sobre as anomalias de precipitação na região, uma vez que atua no posicionamento da ZCIT, a qual dinamiza a estação chuvosa no Nordeste. O impacto de episódios de ENOS sobre a

região é maior quando ocorrem anomalias de TSM de mesmo sinal no Pacífico Leste e no Atlântico Norte (GRIMM, 2009, p.357).

No inverno, a região sul e o extremo norte do Brasil são onde ocorre a principal variabilidade de precipitação em episódios de ENOS. As anomalias das duas fases do ENOS e as anomalias de TSM seguem o mesmo padrão, as variações ocorrem, portanto, em sentido contrário. Todavia, há possível influência de TSM do Oceano Atlântico Sul, nas adjacências da costa sul do Brasil; a ocorrência de ENOS tem causado fortes enchentes na região sul, as quais estão associadas a episódios de *El Niño.* Vale destacar também que, nessa região, há maior frequência de ciclogênese durante o inverno e a estação de transição, entre maio e setembro, fato que favorece o avanço de frentes. Por sua vez, no norte da América do Sul, episódios de *El Niño* e *La Niña* causam diminuição (aumento) de precipitação (GRIMM, 2009, p.358).

A primavera, por sua vez, é tida como o período de retomada de chuva em grande parte do Brasil; as precipitações na primavera são significativas, inclusive na região sul. Observou-se um padrão de variações inversas no centro-leste e sul do Brasil, de tal modo que a posição da ZCAS se situa ao sul da região centro-leste, o que descreve enfraquecimento da convecção ao norte da ZCAS. Esse padrão apresenta forte correlação com as anomalias de TSM associadas a ENOS, o que faz com que a primavera seja mais propícia às teleconexões com o Oceano Pacífico Tropical. Em razão da intensificação dessas teleconexões, o impacto do ENOS sobre a precipitação no sul do Brasil é mais forte na primavera (GRIMM, 2009, p.359).

No verão, o modo relacionado com o ENOS apresenta variabilidade oposta no Norte e Centro-Leste, de tal modo que as anomalias no Sul são relativamente fracas e de sinal não uniforme. A relação desse modo com a TSM indica que existe pouco forçamento remoto, diferente da primavera. As anomalias mais fortes de TSM associadas a este modo encontram-se no Atlântico Sudoeste, junto à costa sudeste do Brasil (GRIMM, 2009, p.360).

Variabilidade decenal a multidecenal e seus reflexos sobre a América Do Sul.

Os modos de variabilidade decenal a multidecenal devem ser entendidos como um modo de variabilidade de baixa frequência. Esses modos de

variabilidade ocorrem tanto no Oceano Pacífico como no oceano Atlântico. Quando superpostos a modos interanuais, como o ENOS, podem alterar o efeito destes sobre algumas regiões do globo, inclusive a América do Sul. Deve-se destacar que, devido às limitações na cobertura espacial quanto ao tamanho da série de dados e ao desempenho dos modelos numéricos, o entendimento desses modos de variabilidade é algo que ainda está em construção, apresentando, pois, vários aspectos desconhecidos (KAYANO; ANDREOLI, 2009, p.375).

Variabilidade decenal no Pacífico.

Dois modos importantes de variabilidade decenal são apontados na literatura, a Variabilidade do Pacífico Norte e a Oscilação Decadal do Pacífico – ODP. Será discutido sobre a ODP, visto que esta, em associação com o ENOS, pode influenciar o clima da América do Sul.

A análise de dados de TSM e PNM indica que a ODP possui duas fases. Assim, a fase quente da ODP configura-se com: a) um forte sistema de baixa pressão sobre o arquipélago das Aleutas, prolongamento da península do Alasca, b) águas superficiais mais frias que o normal no Pacífico Norte Central e Oeste e c) águas mais quentes que o normal na costa oeste das Américas e no Pacífico Tropical Central e Leste. Por sua vez, a fase fria possui comportamentos contrários, sinais invertidos nas anomalias dos dados (MANTUA *et al,*1997).

No que diz respeito à temporalidade das fases, a fase fria da ODP ocorreu entre 1900 e 1924 e entre 1947-1976; enquanto a fase quente ocorreu entre 1925 e 1946 e entre 1977 e meados de 1990. A mudança entre as fases da ODP, com duração aproximada entre 20 anos e 30 anos, mostra-se relativamente abrupta (KAYANO; ANDREOLI, 2009, p.378).

A ODP também mostrou uma variabilidade multidecenal. A esse respeito, Minobe (1999 *apud* KAYANO; ANDREOLI, 2009, p.378) assevera que as três mudanças de regime, 1924, 1947 e 1976, envolveram reversão de fase entre as oscilações pentadecenal, período de aproximadamente 50 anos, e bidecenal, período de 17 anos. Segundo o autor, o modo pentadecenal ajusta a escala temporal para regimes climáticos, enquanto o modo bidecenal, sincronizado com o anterior, tem papel importante na transição abrupta de um regime ao outro.

As similaridades das anomalias de TSM, ventos e PNM verificadas em eventos de ENOS e ODP levaram alguns autores a considerar a ODP como um padrão do tipo ENOS de mais longa duração. Nesse sentido, devido ao ENOS ser uma variabilidade de alta frequência, muitos trabalhos têm procurado investigar a modulação deste pela ODP. Dentre estes, Kayano; Andreoli (2006) sugeriram que padrões de precipitação associados ao ENOS sobre a América do Sul podem estar relacionados à ODP. No cômputo geral, conforme Kayano; Andreoli (2009, p.378), a maioria dos trabalhos que estudam a relação entre ENOS e ODP aponta que a ODP cria um *background* que atua construtivamente/destrutivamente quando o ENOS e a ODP estão em fases iguais/fases opostas.

Variabilidade decenal no Atlântico.

A literatura aponta, desde o final da década de 1970, a importância da variabilidade climática do Atlântico Tropical sobre o clima da América do Sul; esta variabilidade é identificada por vários modos de escala interanual e decenal. No modo decenal, alguns autores identificaram anomalias de TSM em ambos os lados do Atlântico Tropical separados pela ZCIT. As anomalias foram identificadas em intervalos temporais distintos: 10 anos ao norte e 14 anos ao sul. A intensidade desse modo é medida por meio de um índice que expressa a diferença entre as anomalias de TSM do Atlântico Tropical Norte – ATN e do Atlântico Tropical Sul – ATS. Ora verificam-se fortes oscilações no ATN, ora no ATS (KAYANO; ANDREOLI, 2009, p.380).

Nessa perspectiva, estudos mostram que a variabilidade decenal da TSM, no Atlântico Tropical, manifesta-se pelos modos de anomalias de TSM mencionados anteriormente e que estes evoluem na escala decenal e dependem da propagação meridional destas anomalias. Esse modo cria condições dinâmicas e termodinâmicas que interferem na posição e na intensidade da ZCIT, a qual, por sua vez, influencia a precipitação no nordeste do Brasil (ANDREOLI; KAYANO, 2003, 2004 *apud*; KAYANO; ANDREOLI, 2009, p.380).

Dentre os diversos modos de variabilidade decenal a multidecenal, destaca-se a ODP, visto que esta tem a capacidade de modular as teleconexões do ENOS. Quanto à variabilidade decenal do Atlântico sobre a América do Sul e o

Brasil, esta influencia a ZCIT e as precipitações sobre o nordeste brasileiro. Por esse motivo, serão utilizados nessa pesquisa índices de variabilidade interdecenal relacionados à ODP. Destaca-se, ainda, que será priorizada a análise da variabilidade hidroclimática, embora alterações em outras variáveis climáticas sejam verificadas no que tange a ocorrência da ODP ou do ENOS. Informações mais abrangentes sobre a influência desses fenômenos no clima global da América do Sul e do Brasil podem ser averiguadas em Molion (2005), Grimm (2009), Kayano, Andreoli (2009) e Cavalcanti e Ambrizzi (2009).

Estudos Aplicados Sobre Padrões de Teleconexão e Variabilidade Hidroclimática.

Os impactos de fenômenos climáticos de escala global com variabilidade interanual e decadal – como o ENOS, a ODP e outros – sobre a dinâmica hidroclimática, bem como a influência desta conjuntura de processos sobre as atividades econômicas, podem ser observados na literatura.

Nesse sentido, Robertson e Mechoso (1998), ao estudarem as vazões do Rio Negro, do Rio Paraguai, do Rio Paraná e do Rio Uruguai, verificaram que os fluxos destes canais de drenagem apresentaram ciclos interanuais entre 3,5 e 6 anos e um ciclo aproximadamente decadal de cerca de 9 anos, bem como tendência não linear. Os ciclos interanuais apresentaram-se de modo mais expressivo nos fluxos do Rio Negro e do Rio Uruguai; enquanto o ciclo decadal pôde ser observado nos fluxos do Rio Paraguai e Rio Paraná, embora, no último, os ciclos interanuais também tenham sido representativos. Os autores conseguiram relacionar os fluxos interanuais das vazões do Rio Negro e do Rio Uruguai com as anomalias de TSM do Oceano Pacífico, e estas com o fenômeno ENOS, de modo que as vazões acima da média coincidiram com a fase quente das anomalias de TSM. Acerca do ENOS, os resultados apontaram que as anomalias da circulação atmosférica interanual sobre o Pacífico influenciam diretamente a América do Sul. A interação oceano-atmosfera sobre o Atlântico pode, entretanto, também desempenhar um papel na dinâmica atmosférica da região, visto que as anomalias positivas de TSM do Atlântico, particularmente na costa da América do Sul próximo à latitude de 30º S e no Atlântico Tropical Norte, coincidem com os ciclos interanuais

de 3,5 anos. Por sua vez, o ciclo aproximadamente decadal associa-se com as anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical Norte, com relação mais significativa no verão austral e, de forma mais significativa, com as vazões do Rio Paraguai e Rio Paraná.

Em estudo posterior, Robesrton e Mechoso (2000) sugeriram que as variações interdecenais das vazões dos quatro rios citados anteriormente relacionam-se com a variabilidade decenal da intensidade da ZCAS. Nesse caso, a alta vazão do Rio Paraguai e do Rio Paraná e a baixa vazão do Rio Negro e do Rio Uruguai relacionam-se com a ZCAS intensificada. Andreoli e Kayano (2003 *apud* KAYANO; ANDREOLI, 2009, p.380), por sua vez, apontam que a posição e a intensidade da ZCAS podem ser influenciadas pela variabilidade da TSM do Atlântico Tropical, fato que influencia a precipitação no nordeste do Brasil.

Poveda e Mesa (1996) analisaram a variabilidade interanual das anomalias hidrológicas precipitação e vazão na América do Sul, especificamente na Colômbia e na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. Verificaram que os processos hidrometeorológicos são governados pelas fases extremas do ENOS. Assim, quando ocorre o *El Niño,* observa-se redução nas precipitações e vazões; enquanto observa-se aumento nas precipitações e vazões quando a *La Niña* dinamiza a circulação atmosférica. Entretanto, é destacado que esta relação de causa e efeito é, em verdade, mais complexa do que uma simples relação mecânica, devido a interações não lineares entre diferentes subsistemas: atmosfera, oceano, solo, biosfera e criosfera.

Nesse sentido, a relação global entre os índices de ENOS e as variáveis hidrológicas é muito consistente e fisicamente razoável, embora estas estatísticas sugiram apenas associação e não provem a dependência. Há casos em que as anomalias de precipitação não estão relacionadas com as fases extremas de ENOS. A fim de chamar a atenção para esse aspecto, os autores apontam que o *El Niño* de 1982-1983 é o mais forte já registrado, mas não produziu anomalias de secas intensas na região. Entre 1957 e 1960, a Colômbia vivenciou uma das estações mais secas já registradas no país, porém o *El Niño* de 1957-1958 não foi particularmente marcado, tanto em duração como em intensidade. Por sua vez, um dos anos mais chuvosos já registrados foi 1971 foi acompanhado por um evento de *La Niña* moderado. Estas observações deixam claro que, além do ENOS, outros fatores afetam a hidrologia colombiana. Um provável controle poderia estar

relacionado à Oscilação do Atlântico Norte – OAN, que apresenta correlações significativas com a hidroclimatologia colombiana. Além disso, outros fenômenos climáticos de grande escala podem mudar o grau e mesmo o sinal da relação (POVEDA; MESA ,1996).

Marengo e Tomasella (1998), investigaram tendências em vazões, na América do Sul tropical, a saber: Amazônia, Leste do Brasil e Noroeste do Peru. Foram analisados registros contínuos, entre 30 anos e 90 anos, ressaltando que estes foram superiores há 60 anos no Leste do Brasil e na Amazônia; enquanto no Noroeste do Peru foram utilizadas séries mais curtas. A tendência dos dados foi analisada, por meio de regressão linear, e o nível de significância da tendência, por meio da técnica de Mann-Kendall. Adicionalmente, os dados foram relacionados com o índice IOS.

Com relação à região amazônica – incluindo-se o Rio Tocantins para efeito de análise, embora este não pertença à Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas –, os resultados apontaram que não existe tendência significativa para o Rio Negro, o Rio Jamari, o Rio Curua-Una, o Rio Xingu e o Rio Tocantins. Destaca-se que os últimos quatro rios possuem fluxo do sul para o norte; enquanto o Rio Negro possui fluxo do norte para o sul. Consistente com a variabilidade da vazão, os dados de precipitação também não apontaram tendência significativa sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Negro. Estes dados, porém, divergem de outros estudos em que foi observada tendência negativa de escoamento, com base em séries temporais mais curtas. Os autores concluíram que é possível que o impacto causado pelo desmatamento e as mudanças no uso da terra não sejam consistentes com as longas séries temporais da Bacia Hidrográfica do Rio Negro. A variabilidade das vazões do Rio Araguari, do Rio Coracy Nunes, do Rio Negro e das precipitações sobre a Bacia Hidrográfica deste pode ser relacionada com IOS extremos e com o *El Niño.* As séries temporais da Bacia do Tocantins se alternaram entre períodos secos e úmidos, mas não apresentaram tendências significativas e não apresentam relação com IOS extremos. Períodos inseridos na fase negativa do IOS, indicativo de *El Niño,* são acompanhados relativamente por vazões baixas no nordeste da Bacia Hidrográfica do Amazonas; não obstante isto não seja observado no sudeste desta (MARENGO; TOMASELLA, 1998).

Acerca da região Leste do Brasil, as vazões do Rio São Francisco, em Juazeiro, apresentaram diminuição sistemática a partir do início da década de

1970, sendo este um indicativo de condições secas. Contudo, foi feita uma comparação entre as vazões do Rio São Francisco registradas em Juazeiro e em aferições realizadas nas proximidades de Sobradinho, cidade localizada 40 km a oeste daquela, próxima à barragem de Sobradinho. Os resultados indicaram que as vazões registradas nas adjacências de Sobradinho não apresentaram tendência significativa para condições secas, como indicado nos registros em Juazeiro, os quais concordam com as séries de precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do São Francisco. Os resultados ainda mostraram que, anterior à década de 1960, as séries em Juazeiro foram quase idênticas; enquanto, após 1962, as séries apresentaram diminuição gradual. A tendência para condições secas observadas nos registros em Juazeiro provavelmente está relacionada à irrigação de agricultura extensiva próximo a Sobradinho, ou à geração de hidroeletricidade após a construção da barragem de Sobradinho. O início da operação da UHE - Sobradinho corresponde aproximadamente ao período em que as vazões em Juazeiro passaram a exibir redução gradual quando comparadas às vazões daquela, fato que torna as séries de Juazeiro inadequadas para estudos de tendência climática. A respeito das precipitações no nordeste do Brasil, aparentemente estas não apresentam tendência para condições secas ou úmidas desde o início do século passado (MARENGO; TOMASELLA, 1998).

No que concerne ao Peru, foi verificada tendência negativa em algumas drenagens na região noroeste do país; a causa primária, entretanto, não pôde ser explicada com clareza devido à ausência de análises complementares. Assim, a tendência negativa de alguns rios foi relacionada ao modo de uso dos recursos hídricos e a algumas atividades antrópicas, mas não a variações climáticas; ao passo que outros rios apresentaram valores altos extremos sem uma causa específica desde o início dos registros. A variabilidade dos dados mostrou que, na região nordeste do Peru, há boa relação entre vazões altas extremas com a ocorrência de *El Niño*. Essa relação, todavia, não ocorre em todas as drenagens desta região (MARENGO; TOMASELLA, 1998).

Richey *et al.* (1989) analisaram dados diários de vazão do Rio Negro, em Manaus, e do Rio Amazonas, em Manacapurú, em uma série temporal de 83 anos, especificamente entre 1903 e 1985. Os autores destacam que, devido à heterogeneidade das precipitações e dos instrumentos coletores destas, a vazão do rio torna-se um integrador robusto das propriedades hidrológicas em longo prazo de

uma dada bacia hidrográfica. Os resultados indicaram que não existem mudanças estatísticas significativas no período analisado e que a variabilidade interanual predominante ocorre entre 2 anos e 3 anos. As oscilações da vazão são anteriores às influências humanas significativas na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e refletem fatores locais e extrabacia. O cruzamento dos dados anômalos de vazão do Rio Amazonas com o IOS indicou que as oscilações na hidrógrafa estão acopladas com o ciclo climático do Pacífico. As vazões médias do Rio Negro e do Rio Amazonas, no período analisado, foram respectivamente 94000 m^3/s e aproximadamente 200.000 m^3/s.

Compagnucci; Vargas (1998) relacionaram a variabilidade das vazões da região de Cuyo, que abrange os montes orientais dos Andes argentino, com o fenômeno ENOS. Essa região inclui as províncias de San Juan, Mendoza e San Luiz, e totaliza uma área de 315226 Km^2. A respeito da tipologia climática, a região possui clima árido, tornando-se semi-árido ao sul e sudeste desta. Nesse contexto, as águas fornecidas pelos rios são de grande importância para a região do Cuyo, particularmente para os rios das províncias de San Juan e Mendoza.

Assim, a variabilidade interanual das vazões tem impacto considerável sobre a economia regional e, portanto, esse aspecto é crucial para a previsão do escoamento dos rios com a maior precisão possível. A principal fonte do volume de água da região do Cuyo é o degelo da neve acumulada sobre as altas montanhas subtropicais dos Andes no inverno (COMPAGNUCCI; VARGAS 1998).

Particularmente entre as latitudes de 30ºS e 40ºS, nas quais se insere a região do Cuyo, as precipitações de inverno, entre abril e setembro, apresentam coerência espacial e correlações significantes com as precipitações de Santiago, Chile. Logo, esse padrão permite afirmar que a região de Cuyo é homogênea no que diz respeito à variabilidade interanual da vazão. Os fluxos dos rios desta região são altamente correlacionados entre si (COMPAGNUCCI; VARGAS 1998).

O Rio Mendoza, que é um dos rios pertencentes à região do Cuyo, foi utilizado como referência para todos os rios da região, com o intuito de investigar a variabilidade interanual da vazão no verão, compreendida entre outubro e março, relacionando-a com o fenômeno ENOS. Os resultados apontaram que o Rio Mendoza possui um comportamento associado às anomalias do Oceano Pacífico Equatorial; desse modo, vazões acima da média têm maior probabilidade de ocorrer

durante a fase madura do *El Niño,* no verão austral, o que implica abundantes e frequentes precipitações nivais no inverno anterior. Esse conjunto de fatos, bem como a abundância, a frequência e a anomalia dos fenômenos hidroclimáticos mencionados, é menos provável de ocorrer no ano posterior a um episódio de *El Niño* (COMPAGNUCCI; VARGAS 1998)

Ao estudar a anomalias de precipitação sobre a América do Sul e as suas relações com a TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico em episódios extremos da Oscilação Sul, Coelho (2001) verificou dois modos de variabilidade da TSM. Esses modos apresentaram boa relação com o padrão de precipitação sobre a América do Sul. Sendo assim, o autor verificou que as influências conjuntas da TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico sobre as chuvas na América do Sul, durante o *El Niño*, ocorrem no trimestre março, abril e maio, estação de outono; enquanto durante a *La Niña*, ocorrem no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, estação de verão.

O trabalho de Mantua e Hare (1997), acerca da influência da ODP sobre a produção de salmão no Oceano Pacífico Norte, próximo à costa dos Estados Unidos, aponta que a produtividade diminuiu sob padrões de TSM acima da média na região de pesca. Esses padrões de TSM coincidem com a fase negativa da ODP. Vale mencionar que anomalias de TSM acima da média também coincidem com a fase negativa da Oscilação Sul. Os autores destacaram que os padrões de ENOS e ODP podem ser relacionados, tanto espacialmente como temporalmente, à medida que a ODP pode ser observada como a variabilidade do ENOS interdecadal. Os resultados, porém, mostraram-se mais evidentes com a variabilidade de baixa frequência da ODP do que com a variabilidade de alta frequência do ENOS.

3.2.3 Geotecnologia e Topografia.

O geoprocessamento pode ser definido como conjunto de tecnologias voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais com um objetivo específico. Conforme Moreira (2005, p.256), o geoprocessamento pode ser compreendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados de objetos ou fenômenos geograficamente identificados, ou extrair informações destes quando observados por um sistema sensor.

As atividades que envolvem esta tecnologia são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Uma diferenciação deve ser feita entre o termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) – ou *Geographic Information System (GIS) –,* e o termo geoprocessamento, utilizados muitas vezes como sinônimos.

Burrough e McDonnell (1998) propõe a definição de SIG como ferramenta, a qual deve ser entendida como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar sob demanda, transformar e mostrar dado espacial do mundo real. De acordo com INPE (2009a), o geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados; já um SIG processa dados gráficos e não gráficos – alfanuméricos – com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

Diferenciando os conceitos sensoriamento remoto e geoprocessamento, pode-se dizer que o primeiro é parte de todo um conjunto de técnicas que forma o geoprocessamento. Nesse sentido, com relação ao sensoriamento remoto, Florenzano (2002, p.9) considera que esta é a tecnologia que proporciona a obtenção de imagens e outros tipos de dados através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados; enquanto remoto significa que a obtenção é feita a distância, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Com relação às técnicas de geoprocessamento, INPE (2009b) destaca que a edição de dados vetoriais é a maneira mais precisa para representar um objeto geográfico, utilizando-se para tal, segundo Câmara; Monteiro [entre 1990 e 2009, p.7], entidades básicas, como pontos, linhas e áreas – polígonos –, para definir as classes temáticas, objetos geográficos e amostras.

Conforme Domingues (1979, p.1), a topografia é o conjunto de princípios, métodos, aparelhos e convenções utilizados para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de uma porção limitada da superfície da Terra, do fundo dos mares ou do interior das minas. Atualmente, graças ao avanço tecnológico, os aparelhos modernos permitem obter a descrição do terreno com a precisão exigida para projetos de grande complexidade.

A representação do terreno, por meio da utilização dos princípios geométricos e trigonométricos, é a essência da topografia. Entrementes, como a superfície do terreno não é matematicamente definível, por maior que seja o número de pontos escolhidos, nunca será possível representá-la exatamente como no real. Desse modo, o bom senso, o conhecimento da morfologia geológica de terreno e a boa observação permitem que se consiga, com poucos pontos levantados, representar a forma do terreno o mais próximo do real. Assim, as operações executadas no terreno com o objetivo de coletar dados para a representação da superfície são denominadas levantamentos topográficos (DOMINGUES, 1979, p.2).

A topografia faz parte de uma disciplina mais geral, a geodésia, que tem por objetivo o estudo da forma e das dimensões da Terra. Os levantamentos geodésicos referem-se a áreas muito extensas, sendo necessário levar em consideração a curvatura da Terra; os levantamentos topográficos, por outro lado, estão circunscritos a certos limites, entre 25 km e 30 km, dentro dos quais se pode considerar, sem grande erro, a terra como supostamente plana (DOMINGUES, 1979, p.2).

Sistemas de posicionamento por satélites.

Os sistemas de posicionamento por satélites têm se tornado uma ferramenta muito utilizada pelo segmento civil. Dentre as atividades que passaram a fazer uso intenso dessa ferramenta, pode-se citar: o rastreamento de veículos, a aviação, a navegação, o ecoturismo, o levantamento de dados expeditos, a obtenção de coordenadas geodésicas precisas em obras de engenharia, o georreferenciamento de imóveis rurais, a integração destes dados com geoprocessamento e SIG etc.

Pelo fato de o sistema de posicionamento por satélites ser aplicado em várias áreas, e também pelo fato dessa ferramenta ter sido empregada na presente pesquisa, fazem-se necessárias algumas considerações sobre este assunto. É conveniente ressaltar que a maioria das informações que serão apresentadas tem como base a obra de Monico (2008), considerado um dos maiores especialistas brasileiros na área da geodésia.

Quando se faz uso de técnicas de posicionamento por satélites, não se utiliza apenas um aparelho receptor de coordenadas geodésicas – geográficas, mas é feito uso de uma grande rede de satélites que emitem sinais em frequências de rádio, os quais são tratados em superfície e, por fim, enviados aos receptores. Nessas circunstâncias, dois aspectos devem ser explícitos para o usuário que queira fazer uso da citada tecnologia: a) o tipo de receptor a ser utilizado em campo e b) a técnica que deve ser adotada na obtenção dos dados – coordenadas geodésicas.

Atualmente, o sistema de posicionamento por satélites mais utilizado é o *Global Navigation Satellite System – GNSS,* ou Sistema Global de Navegação por Satélite. De forma simples, este sistema é composto por dois grandes sistemas de posicionamento: a) *Global Positioning System – NAVSTAR GPS* –, ou apenas *GPS,* e b) *Global Orbiting Navigation Satellite System – GLONASS.* O primeiro é controlado pelas forças armadas dos Estados Unidos, e o segundo, similar ao anterior do ponto de vista operacional, é controlado pelas forças armadas da Rússia. Hoje, alguns receptores, principalmente os de maior precisão – geodésicos –, têm a capacidade de obter dados dos dois sistemas.

Vale destacar que, possivelmente em breve, outros sistemas poderão compor o sistema *GNSS*: o *GALILEO,* desenvolvido pela *European Space Agency*, e o *Beidou/Compass*, em desenvolvimento pela *European Space Agency* e pela China. Em relação ao sistema *GALILEO*, especialistas da área acreditam que este poderá ser melhor que o *GPS*; conforme Rosa (2005), um dos fatores que contribuem para essa hipótese diz respeito à forma como o sistema será gerenciado, por meio de uma parceria público-privada e não pelas forças armadas. Esse fato torna difícil, por exemplo, uma possível interrupção do sistema ou restrição de acurácia, características presentes no *GPS.*

Sistema de Posicionamento Global – *GPS.*

O Sistema de Posicionamento Global – *GPS* pode ser compreendido como um sistema de navegação via rádio. Foi declarado operacional, em 1985, com 24 satélites em órbita. O bloco atual de satélites – Bloco IIF – é composto por 33 satélites, os quais apresentam aprimoramentos em relação aos satélites anteriores.

O objetivo desse sistema é determinar de forma instantânea a posição, a velocidade e o tempo de um usuário sob qualquer condição atmosférica e em qualquer local do globo. Para tal, faz-se o uso de um referencial padrão: *World Geodetic System – WGS 84.* Essas informações são obtidas com base em medidas de distâncias, denominadas pseudodistâncias, em razão do não sincronismo do relógio do usuário e do satélite. A condição mínima para que os dados sejam coletados é a de que 4 satélites sejam visíveis pelo receptor.

O sistema proporciona dois tipos de serviços: a) *Standard Positioning Service – SPS,* ou Serviço de Posicionamento Padrão e b) *Precise Positioning Service – PPS*, ou Serviço de Posicionamento Preciso. O SPS é um serviço de posicionamento em tempo padrão, disponível a todos os usuários do globo. Até o ano de 2000, esse serviço apresentava acurácia horizontal e vertical, entre 100 m e 140 m, respectivamente, e 340 ns nas medidas de tempo. O PPS, entretanto, apresentava resultados melhores, com acurácia de 22 m na horizontal, 27 m na vertical e 200 ns, porém era restrito para fins militares dos Estados Unidos, fato que se mantém até hoje. Ressalta-se que esse nível de acurácia é obtido com o método de *Posicionamento por Ponto Simples.* Dessa maneira, fazendo-se o uso de métodos mais avançados, como, por exemplo, o *Posicionamento por Ponto Preciso* ou o *Posicionamento Relativo,* o nível de precisão é melhor.

De acordo com Monico (2008, p.33), a limitação do nível de acurácia era garantida por dois códigos de restrição: *Anti-Spoofing – AS* e *Selective Availability – SA,* ou *Disponibilidade Seletiva*. O *AS* é um processo de criptografia do código *P*, o qual será tratado adiante*;* enquanto o *SA* pode ser entendido como a proibição de obter acurácia do sistema *GPS.* Contudo, no ano de 2000, a deterioração da acurácia do serviço *SPS* foi abolida, fato que melhorou a precisão aproximadamente em 10 vezes, ou seja, de 100 m na horizontal, passou-se a obter 10 m de precisão. Para receptores topográficos e geodésicos, isto representou uma precisão entre 0,3 cm e 50 cm. É nesse contexto que houve aumento significativo na utilização dos receptores *GPS* pelo segmento civil para a realização de medições que demandam maior precisão, tanto em latitude e longitude como em altitude. Com relação ao aspecto operacional, o *GPS* é composto por três segmentos: espacial, controle e usuário. A seguir, serão feitas algumas considerações sobre cada um deles.

Classificação dos Receptores *GPS.*

Os receptores podem ser classificados com base: a) no tipo de aplicação: receptor de navegação, receptor topográfico, receptor geodésico, estação de referência, receptor de aquisição em tempo real, b) no tipo de dados proporcionados pelo receptor: código C/A; código C/A e portadora L1; código C/A e portadoras L1 e L2; códigos C/A, P, L2C e portadoras L1 e L2, entre outros e c) nos sistemas de posicionamento que o receptor capta: GPS, GLONASS, GNSS, GALILEO, entre outros. Salienta-se que o importante é o usuário estabelecer, de forma clara, os objetivos pretendidos e a precisão desejada. A classificação mais usual diz respeito ao tipo de aplicação. Destacam-se, principalmente, os receptores de navegação, o topográfico e o geodésico.

Os receptores de navegação, ditos receptores de mão, são os receptores mais simples, utilizados para levantamentos expeditos e, pelo fato de receberem apenas o código C/A, não apresentam precisão centimétrica. A precisão nesses aparelhos oscila entre 3 m e 10 m.

Com relação aos receptores topográficos, a literatura aponta que são os mais indicados para elaboração de bases cartográficas, plantas cadastrais, georreferenciamento de imóveis rurais e integração com SIG. Captam a frequência da portadora L1 e do código C/A, fato que proporciona precisão centimétrica entre 3 cm e 10 cm, na horizontal e na vertical, quando feito uso do *método relativo*.

Quanto aos receptores geodésicos – dupla frequência –, estes captam as frequências das portadoras L1 e L2, bem como os códigos L2C, C/A e P. Apresentam precisão milimétrica: 1 mm. Todavia, o custo destes receptores restringe seu uso a poucas instituições. São utilizados em estudos geodésicos, no cálculo de movimento de placas tectônicas, em estudos cujo objetivo é calcular a melhor precisão possível, entre outros.

Técnicas de Coleta de Dados do Sistema *GNSS.*

Em *GNSS,* diz-se que o posicionamento representa a posição de objetos sobre o espaço geográfico em relação a um referencial. Desse modo, há de se distinguir *posicionamento absoluto* e *posicionamento relativo.* O primeiro está

relacionado ao geocentro, isto é, equivale aos valores obtidos diretamente do satélite, utilizando como base o sistema de referência *WGS 84.* O segundo diz respeito a posições que são determinadas em relação a um referencial materializado, com as coordenadas conhecidas. Nele, o objeto o qual se deseja determinar as coordenadas pode estar parado – *método estático* – ou em movimento – *método cinemático.*

Destacam-se, ainda, outros dois conceitos relacionados a técnicas de posicionamento: *posicionamento em tempo real* e *pós-processado.* No primeiro, a estimativa da posição da estação de interesse – *rover* – ocorre praticamente ao mesmo tempo em que os dados da estação de referência são coletados. Atualmente, a comunicação entre as duas estações pode ser feita via *link* de rádio, *notebook*, modem 3G ou celular com *internet* – GSM. No pós-processamento, as posições dos pontos são determinadas em processamento posterior à coleta.

Não serão discutidas todas as técnicas, visto que a escolha de uma envolve fatores como a natureza da pesquisa, os objetivos desejados, a quantidade de recurso financeiro disponível, recursos humanos e tempo disponível para a execução dos trabalhos de campo. Desse modo, as principais técnicas utilizadas são:

- posicionamento por ponto;
- *GPS* diferencial – *DGPS;*
- posicionamento por ponto preciso – PPP;
- posicionamento relativo;
- posicionamento relativo estático rápido;
- posicionamento relativo cinemático;
- posicionamento relativo cinemático pós-processado;
- posicionamento relativo cinemático em tempo real – RTK.

Geotecnologia Aplicada em Estudos de Hidrologia.

Os dados *SRTM* têm mostrado potencial de aplicação em muitos campos, tais quais modelagem hidrológica, levantamentos de vegetação,

identificação de antigos canais fluviais, mapeamento de geleiras e identificação de antigos assentamentos humanos. Todavia, o modelo *SRTM* apresenta algumas falhas ou espaços vazios. As maiores falhas ocorrem em duas categorias: a) níveis de terrenos planos que correspondem a corpos hídricos, na medida que as superfícies aquáticas produzem um espalhamento do sinal do satélite que lhe dificulta detectar reflexos significativos e b) encostas íngremes em terrenos montanhosos. Além disso, em superfícies que apresentam inclinações acima de 20º, a frequência das falhas aumenta devido à sombra que o radar produz (LUEDELING *et al.* 2007). Mendes e Cirilo (2001), denominam estas falhas por *sinks*.

Além dos problemas supracitados, Valeriano (2004, 2006 e 2008), observou algumas deficiências nos dados *SRTM*, falhas negativas – vórtices – representadas por cotas negativas. São apontadas algumas técnicas com o intuito de eliminar estas falhas, como, por exemplo, filtragens, algo que demanda cautela a fim de não danificar os dados válidos em suas adjacências. O autor também chama a atenção para a sensibilidade do sensor a quaisquer objetos sobre a superfície, como antenas, edificações e dossel de vegetação.

Esta sensibilidade do sensor ao dossel de vegetação apontada anteriormente levou Petersen, Lebed e Fohrer (2009) a construíram um fator de correção para os dados SRTM, com a intenção de que estes fossem aplicados para determinar a altitude de uma área de planície com predominância de Papirus, no sudeste do Sudão. Outros autores, como Avtar e Sawada (2013), aproveitaram esta característica do sensor para mapear áreas desmatadas, integrando dados *SRTM* e de outros radares, MDE, trabalhos de campo e imagens orbitais multitemporais.

Valeriano (2008) destaca que, dos aspectos da qualidade da informação topográfica, a exatidão altimétrica absoluta é menos exigida na maioria das aplicações dos MDEs em estudos sobre o relevo, exceto para aqueles relacionados a inundação e outras questões hidrológicas. Para estes estudos, os levantamentos indiretos em produtos cartográficos e produtos de sensores remotos, bem como as simplificações adotadas quando se trabalha em SIG, não são consideradas adequados.

Molina *et al.* (2014) fazem uma revisão e análise dos diferentes métodos geomáticos disponíveis, os quais são úteis para as diferentes dimensões e aplicações de modelagem de recursos hídricos. Também procuram fornecer ao leitor

a melhor escolha ou escolhas do método a ser usado, dependendo do tipo de estudo de modelagem de recursos hídricos.

Dentre os métodos apresentados pelos autores, será dado destaque para dois, a saber, *GNSS* e técnicas de aerolevantamento utilizadas em fotogrametria. Alguns notáveis exemplos de aplicação do *GNSS* relacionados à gestão ambiental podem ser o monitoramento e a mensuração de deslizamento de terra usando a técnica cinemática em tempo real. Outra aplicação é a avaliação da acurácia por meio de pontos de controle obtidos em solo para determinar um algoritmo para o mapeamento de rio e análise de bacia hidrográfica, por exemplo, o padrão de fluxo da água (MOLINA *et al*., 2014).

Por outro lado, em casos em que a extensão da área é considerável e o ponto de vista é muito limitado, especialmente em áreas abruptas com sombras e oclusões, os sensores de aerotransportados e satélites permitem resolver esta limitação. As plataformas aéreas são otimizadas para rápida captura de dados em áreas grandes e onde é necessário fazer estudos dinâmicos, como propagação de inundação e gestão de inundação, em contraste com estudos estáticos através de validação de modelos e classificação de paisagens. Uma vez que os dados são provenientes de observações descontínuas, e a capacidade de documentar áreas grandes tem aumentado, os campos de pesquisa sobre geomorfologia fluvial, hidrologia de rio e ecologia aquática têm melhorado (MOLINA *et al*., 2014).

Inicialmente, as mensurações eram feitas com pares de imagens estereoscópicas. Com o aumento do poder do computador e o desenvolvimento de novos algoritmos, é possível gerar de forma automatizada o Modelo Digital de Elevação. Entrementes, algumas vezes é necessário construir sobre o MDE extraído pelas técnicas de fotogrametria, por exemplo, para extrair a rugosidade do solo (MOLINA *et al*., 2014).

Zazo, Molina e Rodríguez-Gonzálvez (2015) propõem uma metodologia para avaliar o risco de inundação através de uma técnica inovadora chamada Fotogrametria de Precisão Aérea de Custo Reduzido (FPA-CR), com base em tecnologia motorizada, especificamente avião ultraleve, em conjunto com hibridização de sensores de custo reduzido, visando à aquisição de informação geoespacial. Através da aplicação da técnica FPA-CR, é obtida uma imagem com alta resolução espacial, ortofoto de 2,5 cm, e um MDE de 0,10 m de tamanho de

malha e com densidade de ponto de aproximadamente 100 pontos/m^2, com acurácia de 0,02 a 0,03 m. Esses produtos proporcionam um conhecimento detalhado do terreno, os quais depois são usados para simulação hidráulica e permitem melhor definição das áreas inundadas, com importantes implicações para a avaliação e gestão de áreas com risco de inundação. Essa metodologia permite mais acurácia se comparada a técnicas tradicionais para representar leito de rio, por exemplo. De tal modo, pode ser considerada ferramenta eficiente e apropriada em áreas com alta exposição de risco de inundação.

Neal *et al.* (2009) apontam que dados de extensão de inundação, geralmente coletados com base em plataformas de sensoriamento remoto, vêm sendo usados para validar modelos de inundação. Entretanto, dados de extensão de inundação em áreas urbanas são raros, uma vez que é difícil obter imagem orbital de alta resolução que coincida com o pico de inundação. Embora esta seja, também, uma questão de planícies de inundação em áreas rural, é especialmente crítica em áreas urbanas que tendem a inundar somente durante períodos de grande fluxo ou vazão.

Assim, Neal *et al.* (2009) procuraram avaliar a predisposição de inundação em área urbana de uma cidade da Inglaterra com o uso de um gride de resolução grosseira, sendo este um caso de estudo para validação de modelo hidrológico em área urbana. No que diz respeito à geotecnologia, os autores fizeram o uso de um Modelo de Superfície Digital – MSD, gerado por altimetria à laser aerotripluda – LiDAR. Esses dados foram pós-processados, a fim de ser produzido um Modelo de Elevação Digital – MDE que inclui construções, porém não vegetação, e um Modelo de Terreno Digital – MTD sem construções ou vegetações. Foi obtida grande resolução espacial com o pós-processamento.

O estudo procurou validar um modelo com base na indução que ocorreu na cidade de Carlisle, em 2005. Assim, os autores apontam que, entre 6 e 7 de janeiro de 2005, uma forte chuva sobre o norte e o oeste da Inglaterra provocou inundações na manhã do dia 8 de janeiro, em Carlisle e ao redor desta. Aproximadamente 6000 moradores de 3500 casas foram afetados, dessas, 1934 foram diretamente inundadas. As autoridades locais apontam que a inundação decorreu predominantemente do transbordamento do Rio Eden e,

subsequentemente, do efeito de remanso ao longo do Rio Caldew e Petteril, embora não existam dados da magnitude deste remanso (NEAL *et al,* 2009).

A medição do nível da água durante eventos de inundação extremos é uma componente crucial do processo de gestão das inundações. Primeiro, porque é o controle primordial do risco de inundação. Segundo, porque a relação entre nível de água e sua frequência de ocorrência – respectivamente, magnitude e frequência –, precisa ser estabelecida a fim de se decidir sobre qual nível de água alguma medida de segurança será tomada. Terceiro, porque embora o uso de dispositivos que medem a vazão diretamente seja cada vez mais comum, muitas estimativas de vazão ainda são obtidas com base em relações estatísticas de nível da água – vazão; pelo fato de o nível da água ser medido mais facilmente, ele pode ser usado como variável contínua para determinar a vazão. Essas três razões explicam por que a medição do nível da água é importante (LANE; JAMES; PRITCHARD, 2003).

Infelizmente, a medida do nível da água não é tão simples. Um dos motivos é o fato de que, em muitos eventos extremos, o nível da água submerge os equipamentos. Ademais, em muitos estudos necessita-se da distribuição espacial das inundações; enquanto as estações fluviométricas proporcionam apenas informações pontuais e separadas entre si, ao longo do rio, muitas vezes por quilômetros. Nesse sentido, os métodos de sensoriamento remoto podem proporcionar uma alternativa para adquirir informações acerca do nível da água de forma que as duas problemáticas comentadas sejam sanadas, isto é, obter informações mesmo quando a água atingir seu nível máximo e feitas de forma espacializada. O princípio básico é que, se a extensão máxima da inundação é apresentada sobre a imagem e se a alta resolução e precisão desta são disponíveis, a imagem pode ser segmentada em seguida para dar o esboço da inundação e as elevações extraídas dos dados topográficos podem ser usadas. Recentemente, progressos têm sido feitos em estudos sobre inundações com imagens radar (LANE; JAMES; PRITCHARD, 2003).

Acerca disso, Lane, James e Pritchard (2003), procuraram determinar níveis altimétricos de água durante eventos de inundação extremos através de técnicas de sensoriamento remoto. Foram enfatizados o uso de sensores transportados por ar e a utilização tanto dos dados obtidos por altimetria a laser como da fotogrametria digital em escala 1:4500.

A pesquisa demonstrou o potencial da reconstrução fotogramétrica digital das inundações e associou os níveis máximos de água dos depósitos de inundação a linhas de destruição. A resolução dos dados adquiridos por meio de veículos transportados por ar é, ainda, significativamente melhor do que o uso potencial de sensores baseados em satélite, e pode proporcionar informação de grande valor para gestão (LANE; JAMES; PRITCHARD, 2003).

Vázquez, Menéndez e Fernández (2011), mapearam mudanças do volume de sedimento ativo, entre 1957 e 2007, em um rio localizado ao norte de Cantabrian Range, Espanha. Sendo o sedimento ativo o principal interesse dos autores, eles se preocuparam com os sedimentos localizados no canal de *bankfull,* com os sedimentos localizados nos *bars* ativos e incluíram as margens dos *bankfulls* não estabilizadas por cobertura vegetal densa. O sedimento foi considerado oriundo de frequentes eventos anuais de inundação. As mudanças do volume foram estimadas por meio de identificação de mudança de superfície no canal ativo e nos depósitos de *bars* ativos e, também, mapeadas através do uso de sequência de aerofotos.

Nos procedimentos metodológicos, os autores julgaram necessário entender o comportamento do rio. Assim, foram analisados dados de vazão antes e após o fechamento da barragem de *La Barca.* Acerca dos dados cartográficos foram utilizadas aerofotos obtidas em sobrevoos de 1957 com escala de 1:33000, de 1985 com escala de 1:30000, de 1994 com escala de 1:18000 e ortofotos de 2007 com resolução de pixel planimétrico de 0,25 m por 0,25 m. O georreferenciamento foi realizado no ArcMap, com pontos de controle em comum em todas as imagens (VÁZQUEZ; MENÉNDEZ; FERNÁNDEZ, 2011).

Através da razão da capacidade da barragem (34 hm^3) e da média anual de água da bacia de drenagem a montante (904 hm^3), calculou-se que a capacidade de regularização da barragem equivale a 0,038 ou 3,8%. No que diz respeito ao fluxo do rio e análise das inundações, não se observa maior tendência ou influência da barragem no período analisado. O estudo mostra clara tendência de redução de mobilidade dos depósitos fluviais, na medida que a barragem captura os sedimentos grosseiros fornecidos. Como resultado, o balanço entre a capacidade de transporte do rio e o fornecimento de sedimento foi quebrado. O excesso de

transporte de energia provavelmente tem implicado na incisão do canal (VÁZQUEZ; MENÉNDEZ; FERNÁNDEZ, 2011).

No cômputo geral, observa-se redução do volume de sedimento transportado estocado nos *bars* fluvial. A redução inicial e posterior estabilização da largura do canal ativo implica que esta redução não advém, principalmente, de erosão do banco ou processos erosivos sobre os *bars* laterais. Esse fenômeno deveria ser interpretado como uma consequência de processos contínuos de abandono de *bars* laterais e sua progressiva incorporação de planícies de inundação, devido a alterações humanas, e ocupação por vegetação ripária, com consequente redução de cascalhos expostos (VÁZQUEZ; MENÉNDEZ; FERNÁNDEZ, 2011).

Aicardi *et al.* (2015) apontam que a intensa precipitação em Vernazza, Itália, em outubro de 2011, com o consequente transbordamento do Rio Vernazzola, ocasionou verdadeiro desastre hidrogeológico na cidade. Em termos quantitativos, as chuvas excederam 500 mm em 12 horas, com picos acima de 100 mm/h.

O que implicou a ocorrência de muitos deslizamentos na área. Devido à declividade do terreno, o escoamento superficial trouxe, em poucas horas, grande quantidade de detritos oriundos de deslizamentos. O Rio Vernazzola e a rodovia provincial ao lado, a qual foi seriamente prejudicada pela inundação, foram os principais objetivos do levantamento realizado nesta cidade para uma importante documentação das calamidades ocorridas. Além disso, ao longo do rio, vários artefatos, incluindo pontes, jardins, casas, terraços e outras estruturas construídas, foram duramente prejudicados ou destruídos. Esse registro histórico também foi extrapolado para o curso superior do rio (AICARDI *et al.,* 2015).

Os autores optaram por analisar imagens pré e pós-evento. Para isso, fizeram uso de dados a laser, especificamente Light Detection and Ranging – LiDAR – e ortofotos de alta resolução, bem como de mapas básicos e temáticos de multi-escala. Destaca-se que estes dados foram georreferenciados com técnicas GNSS. Após o levantamento topográfico de detalhe, simulações de inundações foram realizadas a fim de serem identificadas áreas críticas sujeitas à inundação (AICARDI *et al.,* 2015).

Chen *et al.* (2015) propuseram um modelo de previsão de inundação urbana capaz de produzir um índice para determinar o nível de alerta de risco de inundação. O modelo é dividido em cinco módulos e o índice final é calculado através do método de fuzzy. O modelo parece dar bons resultados, porém não é simples de ser aplicado. Recomenda-se a leitura do artigo na íntegra, caso haja interesse pelo assunto.

França (1998, p.71) realizou um mapeamento de zonas inundáveis em períodos de cheia e estiagem através da interpretação de imagens orbitais. Utilizou canais do visível e infravermelho próximo do sensor TM do satélite LANDSAT 5 em conjunto com dados hidroclimáticos, a saber, regime hidrológico, eventos pluviométricos e eventos fluviométricos extremos. Como área de estudo, trabalhou-se em um trecho da sub-bacia do alto curso do rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico – PR e Taquaruçu – MS.

Nesse contexto, destaca-se a obra de Pinto *et al.* (1985, p.182), em que os autores avaliaram o processo de inundação em uma seção do alto Rio Paraná, compreendida entre a foz do rio Aguapeí e a do Paranapanema, divisa entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Para isso, utilizaram-se imagens na faixa do infravermelho próximo, canal 7 do sensor MSS, uma vez que tal banda proporciona melhor contraste entre a água e áreas adjacentes, bem como imagens no canal 5, correspondendo este ao vermelho da faixa do visível, com o intuito de identificar áreas com baixa densidade de cobertura vegetal. Na tentativa de mapear situações de maior extravasamento do rio, os autores selecionaram datas de passagem do satélite que correspondiam a vazões extremas e próximas à normalidade.

A obra de Novo e Santos (1982, p.381) apresenta um mapeamento geomorfológico realizado com a finalidade de levantar os fatores morfoestruturais que poderiam explicar a ocorrência de enchentes em determinados trechos do Rio Doce, Governador Valadares – MG. Os autores destacam alguns fatores que condicionam o escoamento do rio, dentre eles, o regime hidrológico e o uso da terra. Com relação à interpretação das imagens, além da análise visual, fez-se uso da classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança – MAXVER. Destacam-se, ainda, as obras de Maio (1980, p.156) e Moreira (2005, p.109), pois apresentaram

informações relevantes quanto à escolha dos canais a serem utilizados no mapeamento de corpos hídricos.

Sousa *et al.* (2012) calcularam a área do espelho d'água, no curso inferior do rio Tibagi – PR, em períodos distintos: anos atípicos positivos e anos próximos à normalidade. A área do espelho d'água foi calculada através de operações aritméticas de bandas, especificamente através da técnica denominada subtração do pixel escuro. Os autores constataram que a data de 20/02/2005, apesar de ter apresentado a maior área, 123 Km^2, não registrou a maior cota fluviométrica e vazão; enquanto a data de 09/06/1998, apesar de ter registrado os maiores valores de cota fluviométrica e vazão na estação hidrométrica de Jataizinho - 64507000, não apresentou a maior área, 102 Km^2. Essa controvérsia é explicada pelo fato da vazão, na foz do Rio Tibagi, ser regularizada pela hidrelétrica de Capivara, situada no médio Paranapanema.

CAPÍTULO 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

4.1.1 Identificação das Estações Fluviométricas, das Usinas Hidrelétricas – UHEs e das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs na Área de Estudo

A primeira etapa consistiu em uma busca dos dados hidrológicos de interesse, especificamente vazão e cota fluviométrica. Procurou-se tabular quantas estações fluviométricas existem no trecho de interesse dos principais rios, isto é, Paranapanema e Tibagi, e quantas estações fluviométricas possuem de fato dados disponíveis.

Devido a pouca quantidade de dados hidrológicos existentes, foram selecionadas estações fluviométricas que apresentaram séries de vazão e cota fluviométrica igual ou superior a 10 anos. Com base nesses critérios, foram selecionadas 7 estações fluviométricas no Rio Tibagi e 9 estações fluviométricas no Rio Paranapanema, totalizando 10 com a UHE Capivara.

Os dados de vazão, cota fluviométrica e informações adicionais – como: localização, nome, código, cota zero da régua, operadora responsável, período dos dados, área de drenagem, altitude, entre outras –, tanto das estações fluviométricas, como aqueles relacionados às Usinas Hidrelétricas – UHEs e Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs –, foram adquiridos junto à ANA (2005) – Hidroweb, ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE –, à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA –, ao Instituto de Águas do Paraná, à São Paulo (2015), especificamente, ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH –, ao Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE –, à Duke Energy Geração Paranapanema, à Companhia Energética de São Paulo – CESP –, ao Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico – SIGEL/ANEEL, à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, ao Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SIGRH/ANA –, ao Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR/ANA –, ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e ao Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão – SIC.

As estações fluviométricas selecionadas podem ser observadas nos (Quadro 1), (Quadro 2) e (Figura 9). O histórico da UHE Capivara e os históricos das estações fluviométricas do Rio Tibagi selecionados para análise podem ser observados no (ANEXO 1). Destaca-se que não houve acesso aos históricos detalhados das estações fluviométricas do Rio Paranapanema.

Quadro 1. Informações sobre as estações fluviométricas selecionadas do Rio Paranapanema.

Código	Tipo	Nome	Município	Rio	Altitude (m)	AD (Km2)	Coordenadas (UTM)		Responsável	Operadora	Série da cota fluviométrica	Série da vazão	Nível de consistência
							X	Y					
64005000	FLU	Ferreira das Almas	Capão Bonito (SP)	Paranapanema	650	681	783618	7349378	FCTH/DAEE-SP	Desativada em 2001	1947 a 2001 (55)	1969 a 1997 (29)	Bruto
64082000	FLU	Campina do Monte Alegre	Buri (SP)	Paranapanema	569	5790	756766	7387746	ANA	Desativada em 1980	1931 a 1979 (49)	1969 a 1979 (11)	Consistido
64220000	FLU	Piraju	Piraju (SP)	Paranapanema	475	18400	665420	7435213	ANA	Desativada em 1980	1928 a 1979 (52)	1969 a 1979 (11)	Consistido
64273000_6E001	FLU	Porto Ermidão (Irape)	Chavantes (SP)	Paranapanema	NI	27800	628963	7445078	FCTH/DAEE-SP	Desativada em 1969	1937 a 1969 (33)	1937 a 1969 (33)	Bruto
64275000	FLU	Porto Ermidão	Chavantes (SP)	Paranapanema	400	27800	627965	7444810	ANA	Desativada em 1981	1951 a 1981 (31)	1969 a 1981 (13)	Consistido
64280000	FLU	Ponte Melo Peixoto	Jacarezinho (PR)	Paranapanema	390	28500	612671	7454160	ANA	Desativada em 1966	1933 a 1966 (33)	1933 a 1959 (27)	Consistido
64335100	FLU	Porto Jaú	Salto Grande (SP)	Paranapanema	355	38800	600802	7467161	ANA	Desativada em 1980	1952 a 1979 (28)	1952 a 1979 (28)	Consistido
64392000	FLU	Porto Almeida	Palmital (SP)	Paranapanema	336	50870	559769	7465534	Duke Energy	Duke Energy	1978 a 1998 (21)	1978 a 1998 (21)	NI
64515000	FLU	Balsa do Paranapanema	Porecatu (PR)	Paranapanema	250	84800	462500	7494524	ANA	Desativada em 1972	1949 a 1972 (24)	1949 a 1972 (24)	Consistido
UHE Capivara	FLU	UHE Capivara	Taciba (SP) / Porecatu (PR)	Paranapanema	339 (crista barragem)	NI	462938	7493841	Duke Energy	Duke Energy	1975 a 2013 (39)	1975 a 2013 (38)	NI

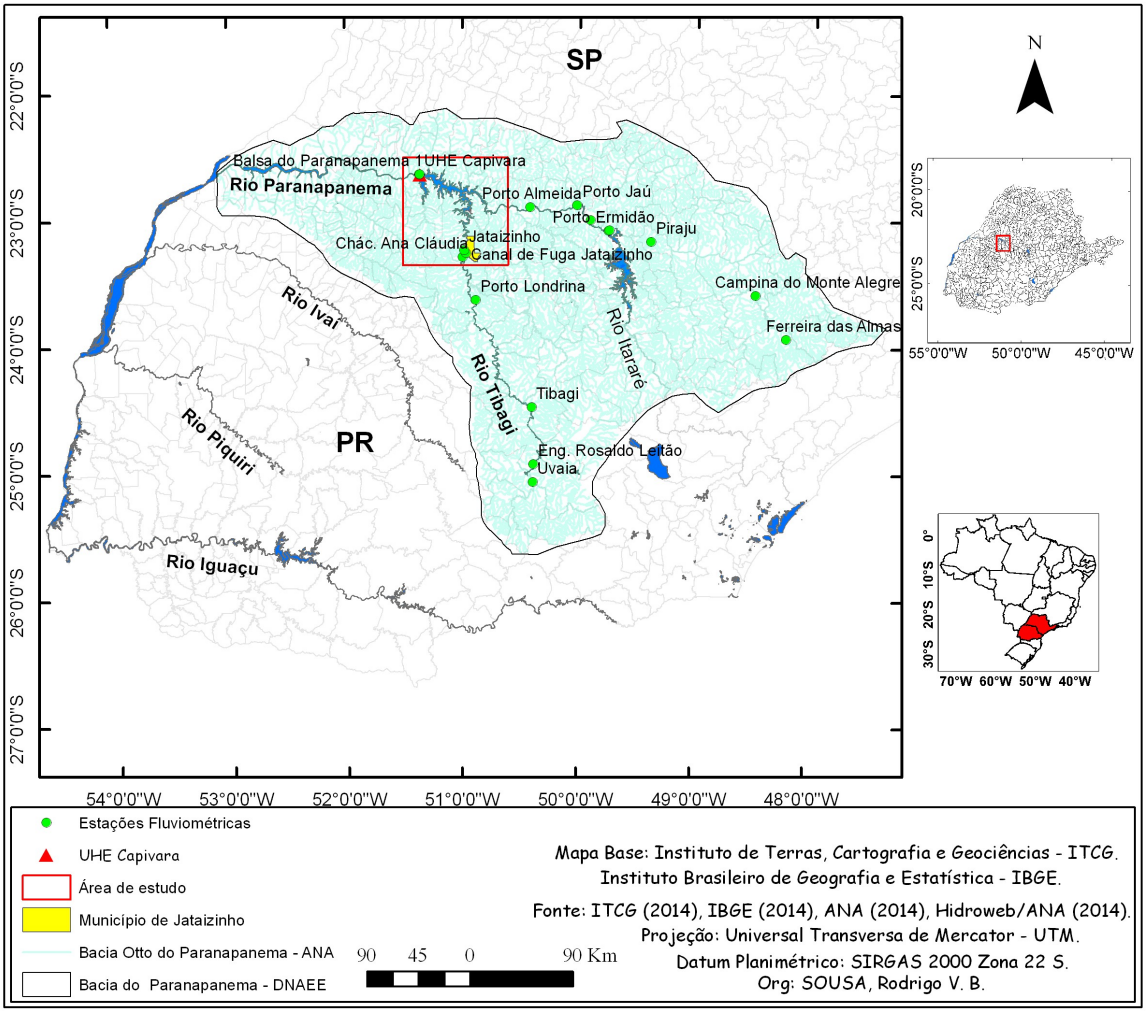
Fonte: ANA (2005) – Hidroweb; Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA; Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SIGRH/ANA; Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS; Instituto de Águas do Paraná; Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH / São Paulo (2015); Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE; Duke Energy; Companhia Energética de São Paulo – CESP e Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão – SIC.

Quadro 2. Informações sobre as estações fluviométricas selecionadas do Rio Tibagi.

Código	Tipo	Nome	Município	Rio	Altitude (m)	AD (Km2)	Coordenadas (UTM)		Responsável	Operadora	Série da cota fluviométrica	Série da vazão	Nível de consistência
							X	Y					
64444000	FLU/PLU convencional e Resolução 03	Uvaia / UHE Mauá Uvaia Montante	Ponta Grossa (PR)	Tibagi	975	4450	561630	7226506	CECS	CECS	1974 a 2013 (40)	1974 a 2013 (40)	Bruto
64447000	FLU	Engenheiro Rosaldo Leitão	Ponta Grossa (PR)	Tibagi	780	5731	562254	7240438	ANA	Desativada	1976 a 2009 (34)	1976 a 2009 (34)	Bruto
64465000	FLU	Tibagi	Tibagi (PR)	Tibagi	750	8948	560789	7290273	ANA	SUDERHSA	1932 a 2013 (82)	1932 a 2013 (82)	Consistido
64501000	FLU	Porto Londrina	São Jerônimo da Serra (PR)	Tibagi	400	18768	511898	7384509	ANA	SUDERHSA	1978 a 2013 (36)	1978 a 2013 (36)	Consistido
64506000	FLU	Chácara Ana Cláudia	Ibiporã (PR)	Tibagi	350	21240	500483	7421939	ANA	Inst. Águas Paraná	1977 a 2009 (33)	1977 a 2009 (33)	Consistido
64506500	FLU	Canal de Fuga Jataizinho	Jataizinho (PR)	Tibagi	345	21200	503267	7425229	COPEL	COPEL	1987 a 2013 (27)	1987 a 2013 (27)	Bruto
64507000	FLU	Jataizinho ANEEL/CESP	Jataizinho (PR)	Tibagi	336	21955	501591	7427873	Duke Energy	Duke Energy	1932 a 2009 (78)	1932 a 2009 (78)	Consistido/ Bruto

Fonte: ANA (2005) – Hidroweb; Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA; Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SIGRH/ANA; Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS; Instituto de Águas do Paraná; São Paulo (2015) - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH; Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE; Duke Energy; Companhia Energética de São Paulo – CESP e Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão – SIC.

Figura 9. Localização das estações fluviométricas selecionadas na área de estudo.



Na sequência, foram identificadas as Usinas Hidrelétricas – UHEs e as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs inseridas nos dois principais rios da área de estudo, isto é, Rio Tibagi e Rio Paranapanema (Quadro 3) e (Figura 10).

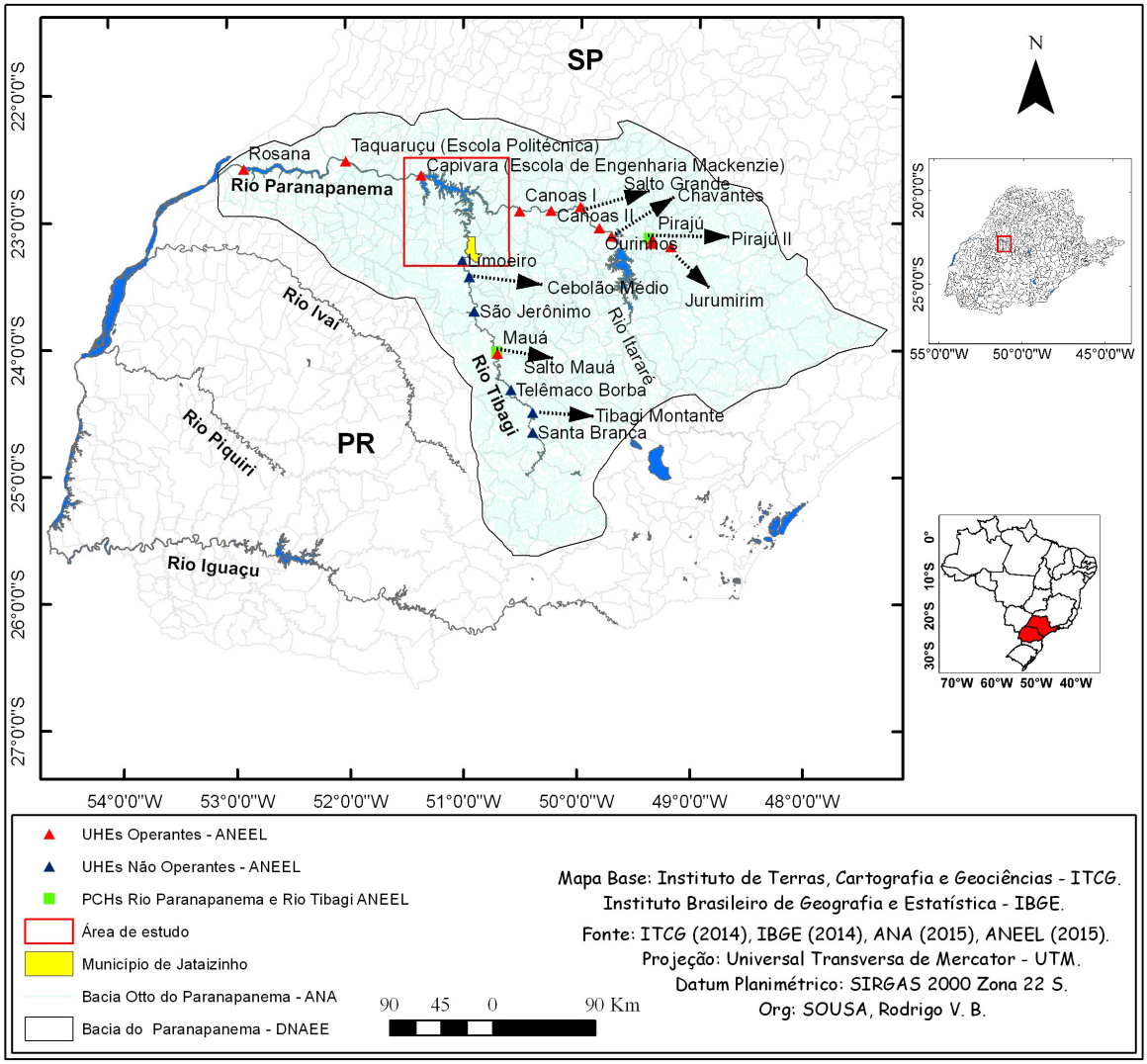
Quadro 3. Informações sobre as UHEs e PCHs em operação e em fase de estudos para futura instalação, referentes ao Rio Paranapanema e ao Rio Tibagi.

Tipo e Nome	Rio	Município	Coordenadas Geográficas		Estágio	Início da operação	Área de drenagem (Km2)	Área inundada (Km2)	Área do reservatório (Km2)	Nível a Jusante (m)	Nível Máximo Maximorum (m)	Nível máximo operativo (m)	Nível mínimo (m)	Nível mínimo operativo (m)	Nível montante (m)	Volume máximo operativo (Hm3)	Volume mínimo operativo (Hm3)	Volume útil (Hm3)	Potência (KW)	Proprietária
			Latitude	Longitude																
UHE Jurumirim	Parana-panema	Cerqueira César	-23,209444	-49,23	Operação	21/9/1962	NI	470,4	0	521	568	NI	559,7	NI	537,7	7000	3843	3157	100956 (P_FIS)	Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.
UHE Parana-panema	Parana-panema	Pirajú	-23,186944	-49,383889	Operação	1/1/1957	NI	1,49	0	487,5	505,55	NI	504,7	NI	504,9	NI	NI	NI	31500 (P_FISC)	Santa Cruz Geração de Energia S/A
UHE Pirajú	Paranapa nema	Pirajú	-23,154444	-49,38	Operação	12/9/2002	NI	17,13	0	505	531,5	NI	NI	NI	531,5	NI	NI	NI	81000 (P_FISC)	Companhia Brasileira de Alumínio
PCH Pirajú II	Parana-panema	Pirajú - SP	-23,154167	-49,409167	Revogado	Nulo	18600	0	0,53	474	0	0	0	0	486	0	0	0	28400 (P_OUT)	Energias Complementares do Brasil – Geração de Energia Elétrica S.A.
UHE Chavantes	Parana-panema	Chavantes - SP / Ribeirão Claro - SP	-23,128611	-49,731389	Operação	30/11/1970	NI	392,12	0	398,7	474	NI	465,23	NI	474	8795,2	5753,67	3041,57	414000 (P_FISC)	Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.
UHE Ourinhos	Parana-panema	Ourinhos - SP / Jacarezinho - PR	-23,068442	-49,838067	Operação	7/12/2005	NI	4,33	0	387,2	NI	NI	NI	NI	398	NI	NI	NI	44400 (P_FISC)	Companhia Brasileira de Alumínio
UHE Salto Grande	Parana-panema	Salto Grande - SP / Cambará - PR	-22,904167	-50,000278	Operação	31/5/1958	NI	14,91	0	366,6	384,64	NI	381,17	NI	384,7	44,14	15,14	29	73800 (P_FISC)	Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.
UHE Canoas II	Parana-panema	Palmital -SP / Andirá - PR	-22,936111	-50,249722	Operação	13/7/1999	NI	25,71	0	351,2	366	NI	365	NI	366	145,57	122,78	22,79	72000 (P_FISC)	Companhia Brasileira de Alumínio
UHE Canoas I	Parana-panema	Cândido Mota - SP / Itambaracá - PR	-22,941389	-50,516944	Operação	9/5/1999	NI	34,99	0	334,2	351	NI	350	NI	351	207	179,3	27,7	82500 (P_FISC)	Companhia Brasileira de Alumínio
UHE Capivara	Parana-panema	Taciba - SP / Porecatu - PR	-22,657953	-51,359778	Operação	10/3/1977	NI	609,73	0	285,2	334, (336*)	334	321	NI	334	10540	4816	5724	619000 (P_FISC)	Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.
UHE Taquaruçu	Parana-panema	Sandovalina - SP / Santa Inês - PR	-22,541944	-52	Operação	12/11/1992	88000	110,26	NI	258,5	284	NI	282	NI	284	676,83	538,69	138,14	525000 (P_FISC)	Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.
UHE Rosana	Parana-panema	Rosana - SP / Diamante do Norte – PR.	-22,6	-52,869444	Operação	20/5/1987	NI	261,44	NI	238	258	NI	256	NI	258	1909	1501,45	407,55	354000 (P_FISC)	Duke Energy International, Geração Paranapanema S/A.
UHE	Tibagi	Tibagi - PR	-24,680556	-50,399444	VB com	Nulo	7635	0	14	721	0	0	NI	0	765	0	0	0	58000	Hidrelétrica Santa Branca Ltda.

Santa Branca					registro													(P_OUT)	
UHE Tibagi Montante	Tibagi	Tibagi -PR	-24,527704	-50,40771	PB com aceite	Nulo	8833	0	7	702	0	0	NI	0	721	0	0	0	32000 (P_OUT)	Minas PCH S.A.
UHE Telêmaco Borba	Tibagi	Telêmaco Borba - PR	-24,351667	-50,590833	PB com aceite	Nulo	13400	0	16,5	642,5	0	0	NI	0	690	0	0	0	118000 (P_OUT)	PROMON ENGENHARIA LTDA.
UHE Mauá	Tibagi	Ortigueira - PR / Telêmaco Borba - PR	-24,06222	-50,70639	Operação	23/11/2012	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	363138 (P_FISC)	Copel Geração e Transmissão S.A.
PCH Salto Mauá	Tibagi	Telêmaco Borba - PR	-24,057778	-50,709167	Operação	Nulo	14900	0,16	0,16	534	NI	NI	NI	NI	567	NI	NI	NI	23859 (P_FISC)	Klabin S/A
UHE São Jerônimo	Tibagi	Londrina - PR	-23,722778	-50,913611	VB aprovado	Nulo	17800	0	65	425	0	0	NI	0	515	0	0	0	340000 (P_OUT)	NI
UHE Cebolão Médio	Tibagi	Londrina - PR	-23,461389	-50,958889	Eixo Disponível	Nulo	20576	0	10	384	0	0	0	NI	416	0	0	0	120000 (P_OUT)	NI
UHE Limoeiro	Tibagi	Ibiporã - PR	-23,328056	-51,018611	Eixo Disponível	Nulo	21680	0	24	349	0	NI	0	0	384	0	0	0	142000 (P_OUT)	NI

Fonte: Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico – SIGEL/ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. NI: Não informado. VB com registro: Viabilidade com registro. VB aprovado: Viabilidade aprovada. PB com aceite: Projeto básico com aceite. Eixo disponível: Eixo disponível. POT_OUT_KM: Potência outorgada. P_FIS_KW: Potência fiscalizada. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 10. Localização das UHEs e PCHs em operação ou com estudo para futura instalação, no Rio Paranapanema e no Rio Tibagi.



4.1.2 Preenchimento das Falhas dos Dados Hidrológicos

As falhas dos dados hidrológicos foram preenchidas por meio do método de regressão linear, discutido por Bertoni e Tucci (2002, p.183). Tal método consiste em uma análise de correlação entre os dados do posto com falhas e um posto de referência com características climáticas e geográficas similares. Nesse caso, o posto de referência foi aquele que abrangeu o período de dados comum ao posto com dados faltantes, localizado a montante ou a jusante.

Conforme Triola (2005, p.396), o objetivo principal da regressão linear é descrever a relação entre duas variáveis através do gráfico e da equação

que representam a relação. Esta reta é chamada de *reta de regressão* e sua equação, de *equação de regressão*.

De acordo com Lanna (2004, p.101), a regressão linear simples relaciona duas variáveis e é descrita por uma função do tipo geral Y = f[X]. Quando esta função é retilinearizada, ela assume a forma Y = A.X + B. Os coeficientes da reta, incluindo-se o coeficiente de correlação, podem ser obtidos diretamente no gráfico. O valor de B será o de y quando x = 0, encontrando-se sobre o eixo das coordenadas. O valor de A é a tangente do ângulo que a reta ajustada faz com a horizontal. Os valores de A e B também podem ser obtidos pelo método dos mínimos quadrados, teoricamente descrito pela equação 2.

$$(\bar{y} - y)/s_y = [s_{xy}/(s_x \,.\, s_y)] \,.\, (\bar{x} - x)/s_x = r_{xy} \,.\, (\bar{x} - x)/s_x \qquad (2)$$

Outros autores, como Ward; Trimble (2004, p.19), destacam que os coeficientes b, a e r podem ser obtidos respectivamente pelas equações 3, 4 e 5.

$$b = n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y) \,/\, n(\sum x^2) - (\sum x)^2 \qquad (3)$$

sendo:

n = número de mensurações.

$$a = \bar{y} - b \,.\, \bar{x} \qquad (4)$$

sendo:

$\bar{y}$ = média dos valores de y;

$\bar{x}$ = média dos valores de x.

$$r = n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y) \,/\, \sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \,.\, \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2} \qquad (5)$$

Com a regressão linear simples construída, a análise de correlação entre os dois postos foi feita com base no coeficiente de determinação (r^2), o qual tem por objetivo avaliar a qualidade da relação dos dados[2]. Segundo Tucci (2002,

[2] A diferença entre coeficiente de determinação (r^2) e coeficiente de correlação (r) consiste no fato de que o primeiro tem por objetivo avaliar a qualidade da relação dos dados; enquanto o segundo avalia

p.39), o coeficiente linear de correlação ao quadrado ou coeficiente de determinação representa a proporção com que o modelo consegue explicar a variabilidade da função y. Nesse sentido, quanto mais próximo de 1 for o (r^2), maior será a parcela explicada. Por sua vez, o autor assevera que o desvio padrão dos erros de ajustamento quantifica a dispersão dos valores observados da variável independente em torno da função ajustada. Assim, um valor baixo do desvio padrão indica bom ajuste.

4.1.3 Análise de Consistência dos Dados de Vazão

Após o preenchimento das falhas dos dados hidrológicos, analisou-se a consistência dos dados de vazão, independente destes terem sido consistidos pelas operadoras das estações fluviométricas. A base teórica utilizada para este procedimento foi a técnica denominada Análise de Continuidade, discutida por Tucci (2002, p.87).

Em síntese, tal técnica consiste em calcular a diferença entre a vazão do posto de jusante e a vazão do posto de montante de um dado trecho do rio. Nessa acepção, a continuidade é respeitada somente quando a diferença é positiva. Diferenças negativas, portanto, indicam inconsistências nos dados. Pelo fato de não envolver procedimentos matemáticos exaustivos, a Análise de Continuidade é considerada uma técnica de fácil aplicação e também um bom indicador da qualidade dos dados.

De modo geral, observa-se que, quando a continuidade não é respeitada, isto se deve a erros de superestimação da vazão em estações fluviométricas a montante e/ou subestimação da vazão em estações fluviométricas a jusante. A principal causa desses problemas diz respeito à precariedade dos ramos de extrapolação superior da curva-chave. Assim, a análise das curvas-chave das estações fluviométricas de montante e jusante dos trechos problemáticos constitui etapa importante para definir as causas que determinam a falta de continuidade (TUCCI, 2002, p.87).

---

a relação dos dados dentro de um limite de confiança. Notas de aula da disciplina *Teoria e métodos em climatologia aplicada à análise ambiental*, ministrada pelo Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli (Informação Verbal).

Além disso, quando existe um leito maior de inundação extenso, parte do volume das inundações fica retida no leito, e, por isto, parcela do volume é evaporada, fato que pode reduzir a vazão de montante para jusante (TUCCI, 2002, p.89). É necessário, portanto, conhecer as características físico-geográficas da área de estudo, pois isto irá contribuir para a interpretação das inconsistências dos dados que porventura sejam constatadas.

Para as vazões mínimas, deve ser calculada a vazão mínima média de 7 dias, ano a ano, das estações fluviométricas de montante e jusante. Na sequência, calcula-se a diferença das vazões entre a estação de jusante e a estação de montante. A continuidade é respeitada somente quando a diferença é positiva.

O exame das vazões mínimas, para cada trecho do rio com estações fluviométricas a montante e jusante, permite observar se existem muitas anomalias nessa faixa da curva-chave. Ressalta-se que o mesmo procedimento adotado para as vazões mínimas pode ser utilizado para a vazão média de longo período.

Para as vazões máximas, devem ser selecionados, no mínimo, cinco hidrogramas de cheia em cada trecho e, na sequência, deve ser calculado o volume dos mesmos em cada estação fluviométrica. A última etapa diz respeito ao cálculo da diferença das vazões entre a estação de jusante e a estação de montante. A continuidade é respeitada somente quando a diferença é positiva.

No entanto, em algumas regiões, como a região do Pantanal, a diferença das vazões máximas pode ser negativa. Nesse caso em específico, isso ocorre devido ao fato da água do rio, ao atingir a área de inundação, ocupar os baixios e não retornar ao rio principal, o que pode levar à redução tanto da vazão máxima como da vazão média. Assim, caso ocorram valores negativos, devem existir justificativas contundentes, caso contrário, a anomalia poderá estar contida na curva-chave.

Além desses procedimentos matemáticos e estatísticos para executar a Análise de Continuidade, Tucci (2002, p.88) apresenta critérios para a atribuição de qualidade e notas às estações fluviométricas em relação às vazões máximas e mínimas.

A técnica da Análise de Continuidade não foi utilizada em sua essência, mas, sim, como base teórica para a construção de uma nova técnica de consistência dos dados de vazão, denominada Índice de Consistência de Vazão – ICV. O ICV é de fácil aplicação e é pautado no princípio básico da técnica proposta por Tucci (2002, p.87): avaliar se os dados de vazão entre duas estações fluviométricas apresentam continuidade no trecho de certo rio. No índice aqui apresentado, isto é, no ICV, os dados básicos utilizados são as médias mensais de vazão, média das máximas de vazão e média das mínimas de vazão. A aplicação do ICV é simples e demanda apenas o conhecimento de matemática básica e de técnicas de estatística descritiva. Pode ser utilizado em qualquer pesquisa que necessite avaliar a consistência dos dados de vazão média. A seguir são apontadas as etapas para a execução do ICV:

- A primeira etapa consiste na análise da diferença da vazão média mensal ao longo de toda a série temporal dos dados para cada trecho do rio analisado. A diferença deve ser calculada sempre subtraindo a vazão da estação fluviométrica a jusante pela vazão da estação fluviométrica a montante (EFJ – EFM). Tal-qualmente a técnica proposta por Tucci (2002, p.87), a continuidade será respeitada somente quando a diferença for positiva; caso contrário, os dados apresentam inconsistências. Na medida em que a vazão média mensal é obtida com base nas vazões médias diárias, entende-se que inconsistências naquela, obrigatoriamente, refletem as inconsistências destas;
- A análise é feita respeitando-se a série temporal de cada estação fluviométrica. Por exemplo, se a estação fluviométrica a montante possuir maior série temporal que a estação fluviométrica a jusante ou vice-versa, não será estimada a vazão do período sem dados referente à estação fluviométrica que possuir a menor série temporal;
- Ao longo de cada ano, calcula-se a porcentagem de inconsistência dos dados, tendo como referência que doze meses com continuidade dos dados, isto é, com diferenças

positivas, representam 0% de inconsistência. Após a contagem dos meses com diferença negativa, caso existam, uma regra de três deverá ser realizada para se chegar à porcentagem de inconsistência do referido ano. Esse valor é denominado ***ICV anual***;

- O procedimento anterior deverá ser realizado para cada mês. O valor será denominado ***ICV mensal histórico.*** Por exemplo, em uma análise de consistência entre duas estações fluviométricas com uma série temporal de vazão de 23 anos, caso 12 meses de fevereiro apresentem diferença negativa, a inconsistência dos dados equivalerá a 52,2%;
- A etapa seguinte consiste na obtenção do ***ICV geral*** entre as duas estações fluviométricas. Todas essas etapas devem ser realizadas em cada trecho do rio analisado, sempre de montante para jusante;
- Os critérios para a atribuição de qualidade dos dados de vazão são: bom (entre 0% e 30% de inconsistência), razoável (entre 30,1% e 50% de inconsistência) e ruim (entre 50,1% e 100% de inconsistência);
- A critério de cada pesquisador, os dados que apresentaram ***ICV anual*** **e** ***ICV mensal histórico*** razoável ou ruim poderão ser representados graficamente;
- Para as estações fluviométricas que apresentarem ***ICV geral*** razoável e ruim, os cálculos deverão ser realizados, também, para as médias máximas de vazão e médias mínimas de vazão. Isso permitirá levantar hipóteses em quais segmentos das curvas-chave poderão estar embutidos os maiores erros;
- O ajuste das curvas-chave dependerá do objetivo do pesquisador. Caso este necessite trabalhar somente com dados de vazão e, principalmente, dados de vazão das estações fluviométricas que apresentaram ICV geral ruim e razoável, recomenda-se que o pesquisador analise as curvas-

chave das estações em questão e faça os ajustes necessários. Se o objetivo, entretanto, é trabalhar com valores de cota fluviométrica ou cota altimétrica do rio, o ajuste das curvas-chave torna-se opcional, visto que, na maioria das estações fluviométricas, os dados de cota fluviométrica são medidos *in situ* com mais frequência, seja por observador ou por telemetria; enquanto os dados de vazão são obtidos pela curva-chave;

- Recomenda-se que o pesquisador saiba se as fontes dos dados hidrológicos são confiáveis, que conheça o histórico das estações fluviométricas e que conheça a dinâmica climática e hidrológica da área de estudo, a fim de observar se outras variáveis influenciam a existência de ausência de continuidade;
- Ao final, deve-se apresentar uma tabela síntese mostrando os valores de ICV anual e ICV geral, ao longo da série temporal de todas as estações fluviométricas.

A atribuição da qualidade dos dados de vazão média no método ICV foi estabelecida com base em critérios quantitativos e qualitativos. Acerca dos critérios quantitativos, tomando como referência o ICV Bom, o qual possui entre 0% e 30% de inconsistência, entende-se que, se 30% dos dados apresentam inconsistências, isso equivale dizer que 70% dos dados são consistentes, considerado este um valor que representa bem a qualidade dos dados. Valores abaixo de 70% de consistência foram, então, divididos em outras duas categorias, a saber: ICV razoável, o qual possui entre 30,1% e 50% de inconsistência ou 69,1% e 50% de consistência, e ICV ruim, que corresponde a inconsistências acima da metade dos dados.

Com relação aos critérios qualitativos, pode-se dizer que existem poucas estações fluviométricas, no Brasil, com séries temporais longas, iguais ou superiores a 100 anos, a exemplo dos Estados Unidos da América e outros países

desenvolvidos[3]. Observa-se, então, que muitas estações fluviométricas possuem séries temporais curtas. Conforme Tucci (2002, p.82), a quantidade mínima de anos com dados hidrológicos completos, para estudo de regionalização, por exemplo, são cinco anos.

Esse contexto exige que o pesquisador brasileiro procure explorar o máximo possível dos dados hidrológicos existentes. Em exemplo hipotético, uma estação com série de 30 anos, caso apresente ICV geral de vazão média igual a 50%, ICV geral razoável, demonstra que metade dos dados, isto é, 15 anos, é aproveitável, e a outra metade é aproveitável, porém com algumas reservas. Os critérios para classificação do ICV, portanto, foram adotados levando-se em conta a realidade brasileira no que tange o tamanho das séries temporais dos dados.

4.2 Identificação do Regime Hidrológico do Rio Paranapanema, do Rio Tibagi e do Regime de Operação da UHE Capivara.

O regime hidrológico do Rio Paranapanema e do Rio Tibagi foi identificado, por meio das médias históricas mensais de vazão, como cota fluviométrica e cota altimétrica do nível dos canais fluviais. Utilizaram-se dados das estações hidrométricas mais representativas do ponto de vista: a) da importância destas para os propósitos da pesquisa, b) de sua localização no canal fluvial principal e c) da extensão das séries destas, procurando-se optar pelas estações com séries mais longas dos canais fluviais e da UHE Capivara.

Realizou-se uma caracterização geral do regime hidrológico para série completa dos dados, e também uma análise do regime hidrológico separadamente para cada período hidrológico identificado.

Adicionalmente, foram construídas curvas de permanência para a caracterização geral do regime hidrológico. Nesse sentido, Tucci (2004, p.603) aponta que a curva de permanência relaciona a vazão ou nível de um rio à probabilidade de ocorrerem valores maiores ou iguais aos representados na ordenada. Collischonn e Tassi (2008, p.170) argumentam que a curva de permanência expressa a relação entre a vazão e a frequência com que esta vazão é

[3] A *U.S Geological Survey - USGS* possui dados hidrológicos de aproximadamente 23.000 estações fluviométricas, os quais vêm sendo coletados aproximadamente há 110 anos (USGS, 2015 a, b, c).

superada ou igualada, podendo ser construída a partir de dados diários ou mensais. Em geral, a frequência dos débitos ou cotas fluviométricas é expressa em porcentagem, apresentando-se, em alguns casos, em escala logarítmica.

A utilização da curva de permanência é importante para muitos estudos, dentre eles os que visam determinar vazões mínimas de referência para outorga de uso de recursos hídricos, determinadas normalmente pelos parâmetros Q7,10 ou Q_{95}. Pelo fato de estar vinculado aos períodos críticos de oferta de água, o conhecimento das vazões mínimas de uma bacia hidrográfica – obtido pela curva de permanência – é extremamente importante em estudos de disponibilidade hídrica para os diversos usos consuntivos. Toma-se como referência o trabalho desenvolvido por ANA (2005b, p.1).

Conforme Pinto (1976, p.170), em estudos energéticos costuma-se definir como energia primária da usina o equivalente a uma potência disponível entre 90 e 100% do tempo. Nos casos em que a curva de permanência apresenta uma queda abrupta próxima ao valor de 97%, devido à ocorrência de alguns raros períodos de seca excepcional, costuma-se utilizar a frequência correspondente a essa queda brusca para estipular a energia primária. O autor ainda destaca a importância dessa ferramenta para a comparação de bacias hidrográficas com características distintas, colocando em evidência os efeitos do relevo, da vegetação, do uso da terra e da precipitação sobre a distribuição das vazões.

Acerca do regime de operação da UHE Capivara, este foi analisado através dos dados de vazão defluente da usina, vazão vertida da usina, vazão turbinada da usina, vazão afluente da usina, nível montante do reservatório e volume útil do reservatório.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PERÍODOS HIDROLÓGICOS DO RIO PARANAPANEMA E DO RIO TIBAGI.

4.3.1 Períodos Hidrológicos Identificados Por Meio do Teste de Pettitt.

Aplicou-se o teste de Pettitt para verificar a homogeneidade dos dados e se havia ruptura nestes. Considerado um teste não-paramétrico, isto é, que não requer hipótese sobre a distribuição dos dados, a técnica de Pettitt é estruturada

com base no teste de Mann-Whitney. Destaca-se que não será detectada mudança na distribuição caso não se verifique mudança de posição (PETTITT ,1979; DEBORTOLI, 2013).

O teste considera uma sequência de variáveis independentes X1, X2,..., X_n. Nela é possível que exista um ponto de ruptura ζ caso X_t, para t = 1,... ζ tenha uma distribuição comum F_1 (X), e caso Xt, para t = ζ + 1,..., N tenha uma distribuição comum F_2 (X), diferente de F_1 (X). A hipótese nula de não ruptura H0: ζ = N, contra a hipótese alternativa de ruptura H1: 1≤ ζ, é então testada (PETTITT, 1979, p.127; NIEL *et al.* 1998 *apud* DEBORTOLI, 2013, p.104).

Pettitt (1979, p.127) demonstra que a formulação proposta por Mann-Whitney (Equação 6) pode ser adaptada para detectar mudança.

$$D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j) \tag{6}$$

Sendo sgn(x) = 1 se x>0, 0 se x = 0, -1 se x<0, então pode-se obter a (Equação 7) (PETTITT, 1979, p.127).

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{T} D_{ij} \tag{7}$$

Esse cálculo estatístico é equivalente ao de Mann-Whitney para testar se as duas amostras $X_1,...,X_t$ e $X_{t+1,...},X_T$ são provenientes da mesma população. Assim, $U_{t,T}$ é considerado para valores de t com 1 ≤ t < T. A proposta para o teste de H: nenhuma alteração contra A: com alteração é, portanto, descrita pela (Equação 8) (PETTITT, 1979, p.127).

$$KT = \max_{1\le t<T} |U_{t,T}| \tag{8}$$

Ao ser feito uso da Teoria das Amplitudes, é proposto o cálculo da probabilidade de deslocamento de um dado valor K (Equação 9), (PETTITT, 1979, p.129).

$$PoA\ (Kt > K) \approx 2exp\ \{-6k^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (9).$$

Havendo um risco α, H_0 é rejeitado caso esta probabilidade seja inferior a α. Nesse caso, verifica-se, então, ruptura no tempo t = ζ definindo K^T. Ademais, o teste é particularmente sensível à mudança da média (NIEL *et al.* 1998 *apud* DEBORTOLI, 2013, p.104).

4.4 Relacionamento Entre Dados de Vazão e Índices Climáticos.

Pelo fato do regime hidrológico ser influenciado pela variabilidade climática, os regimes de fluxo do Rio Tibagi, do Rio Paranapanema e da UHE Capivara foram relacionados com índices climáticos de padrões de teleconexão, especificamente, o Índice Oscilação Sul (IOS) referente ao *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), IOS da região 3.4 e o Índice da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Os dois primeiros índices dizem respeito a variabilidades de alta frequência, isto é, interanuais; enquanto o último se refere à variabilidade de baixa frequência, ou seja, decadal a multidecadal. Os índices climáticos foram coletados em NOOA (2015 a, b, c) e JISAO (2015).

4.5 Identificação de Episódios de Inundações na Cidade de Jataizinho.

Os episódios de inundações que ocorreram na cidade de Jataizinho foram identificados quantitativamente e qualitativamente por meio de: a) relacionamento entre dados topográficos e dados hidrológicos do Rio Tibagi e b) consulta ao banco de dados da prefeitura de Jataizinho, aos registros da Defesa Civil do Estado do Paraná e pesquisa em matérias de jornais.

4.5.1 Coeficiente de Compacidade – Kc – e Fator de Forma – Kf – das Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e do Ribeirão Jataizinho.

Com o intuito de diagnosticar se a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi é ou não susceptível a inundações, procurou-se calcular o coeficiente de compacidade – Kc e o fator de forma – Kf, índices discutidos por Villela e Mattos (1975, p.14). O coeficiente de compacidade é dado por (Equação 10), (Equação 11), (Equação 12) e (Equação 13); enquanto o fator de forma é dado por (Equação 14), (Equação 15) e (Equação 16).

Sublinha-se que estes índices também foram calculados para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jataizinho, na medida em que este se constitui um tributário do Rio Tibagi, que passa dentro do sítio urbano de Jataizinho, ocasionando também inundações.

$$A = \pi r^2 \quad (10)$$

onde:

$$r = \sqrt{A} / \pi \quad (11)$$

onde:

$$Kc = P / 2 \pi r \quad (12)$$

onde:

$$Kc = 0.28 P / \sqrt{A} \quad (13)$$

sendo:

π: 3.1415926.

r: Raio da circunferência.

Kc: Coeficiente de compacidade;

P: Perímetro da bacia hidrográfica – Km;

A: Área da Bacia Hidrográfica – Km^2.

$$Kf = \bar{L} / L \quad (14)$$

onde:

$$\bar{L} = A / L \quad (15)$$

onde:

$$Kf = A / L^2 \quad (16)$$

sendo:

Kf: Fator de forma.

–
L: Largura média da bacia hidrográfica.

L: Comprimento da bacia hidrográfica.

A: Área da bacia hidrográfica.

Quanto à interpretação dos testes, Villela e Mattos (1975, p.14) apontam que o coeficiente de compacidade – Kc – sempre será um valor maior que 1, sendo que quanto menor for este valor, mais circular é a bacia hidrográfica, menor é o tempo de concentração e maior é a tendência de haver inundação. Nesse sentido, bacias hidrográficas circulares tendem a ser mais suscetíveis a inundações.

Acerca do fator de forma – Kf –, Villela e Mattos (1975, p.14) destacam que quanto menor for seu resultado, mais comprida é a bacia hidrográfica e, portanto, menos suscetível à inundação, pois o tempo de concentração da água na bacia é maior.

Ambos os testes indicam que bacias hidrográficas circulares são mais propensas a inundações. Destaca-se que, os valores de área de drenagem, de perímetro de bacia e de comprimento do canal principal da bacia foram obtidos por meio de técnicas de geoprocessamento. Outro ponto a ser mencionado é que, para o Rio Tibagi, a área de drenagem diz respeito à estação fluviométrica de Jataizinho e não a toda Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi.

4.5.2 Identificação de Episódios de Inundação na Cidade de Jataizinho, Através do Relacionamento entre Dados Topográficos e Dados Hidrológicos do Rio Tibagi.

Datas que ocorreram inundações, na cidade de Jataizinho, foram obtidas através do relacionamento entre dados topográficos do relevo da cidade, especificamente cotas topográficas, e dados de cota altimétrica do Rio Tibagi da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

Inicialmente, procurou-se fazer uso de uma base cartográfica digital, obtida na prefeitura de cidade de Jataizinho, a qual possuía escala de 1:5.000 e equidistância das cotas topográfica de 5 m. Todavia, a existência de anomalias, como cotas topográficas cruzando canais fluviais de forma errônea, e a ausência de

informações técnicas imprescindíveis para os propósitos da pesquisa, como *datum* vertical, impossibilitaram a utilização desta base cartográfica.

Procurou-se, também, fazer uso dos dados topográficos extraídos de cartas topográficas de Brasil (1991b, 1991c), do produto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* – e do projeto TOPODATA, especificamente os dados relacionados à altitude, os quais foram obtidos em Miranda (2005) e INPE (2011).

No que concerne às cartas topográficas, analisaram-se as cartas de Assaí, Folha SF.22-Z-C-I-3 e Uraí, Folha SF.22-Z-C-I-1, ambas com escala de 1:50.000 e com equidistância das curvas de nível de 20 m. Os produtos, a princípio analógicos, foram digitalizados por meio de *scanner* de mesa. Na sequência, através de técnicas de geoprocessamento, fez-se o georreferenciamento e a vetorização das curvas de nível da área de interesse, utilizando-se para tal o *software* ArcGIS 10. Ressalta-se que o *datum* vertical original das cartas topográficas é o Imbituba – SC; enquanto a cobertura da área para o mapeamento delas foi feita com base em aerofotos de 1980. Dessa forma, ao que tudo indica, as altitudes locais foram obtidas utilizando-se referências de níveis do IBGE – RNs como apoio, as quais estão referenciadas junto ao *datum* de Imbituba – SC.

Acerca do projeto TOPODATA, este apresenta um MDE e suas derivações básicas locais, em escala nacional, elaborados com base nos dados do *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM,* disponibilizados pela *U.S Geological Survey – USGS*, e, no Brasil, também por Miranda (2005). Através de um procedimento metodológico que é detalhado em INPE (2011), o projeto TOPODATA procurou refinar os dados SRTM originais para o território brasileiro, os quais apresentam resolução espacial de 90 m para uma resolução espacial de 30 m.

Após a extração das curvas de nível da área de interesse, por meio de técnicas de geoprocessamento, estas foram sobrepostas a uma imagem orbital do satélite *Rapideye,* o qual possui resolução espacial de 5 m. A imagem foi adquirida gratuitamente junto a BRASIL (2014a).

Entretanto, durante a análise dos dados topométricos, tanto as cartas topográficas como os produtos SRTM e TOPODATA apresentaram limitações. No primeiro caso, a equidistância das cotas topográficas, 20 m, mostrou-se muito grande para identificar flutuações do nível do Rio Tibagi. Nos dois últimos

casos, as curvas de nível nos fundos de vale, isto é, nas adjacências dos corpos hídricos, apresentavam anomalias no traçado das mesmas em decorrência do espalhamento do sinal do satélite, assunto reconhecido na literatura.

Somou-se a estas limitações, o fato de não se conhecer o *datum* vertical da cota zero do primeiro lance da régua linimétrica referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, das demais estações fluviométricas a serem utilizadas em conjunto, a saber, Canal de Fuga Jataizinho – 64506500 e Chácara Ana Cláudia – 64506000, e da cota zero do primeiro lance da régua linimétrica do reservatório da UHE Capivara.

A fim de padronizar o *datum* vertical das cotas zero das réguas linimétricas mencionadas, optou-se em obter as altitudes destas através de técnicas *GNSS.* As coordenadas geodésicas obtidas também foram de fundamental importância para determinar o nível de margens plenas do Rio Tibagi, o que demandou a construção de um modelo estereoscópico digital.

Assim, a identificação dos episódios de inundação, na cidade de Jataizinho, foi possível somente após a determinação da cota zero do primeiro lance de régua linimétrica da estação de Jataizinho – 64507000 através de técnicas *GNSS,* e da determinação do nível de margens plenas do Rio Tibagi por meio de estereoscopia digital. As considerações sobre o modelo estereoscópico utilizado serão feitas ao longo dos procedimentos metodológicos.

A seguir, serão apresentadas as etapas utilizadas para a determinação das cotas zeros dos primeiros lances das réguas linimétricas.

4.5.2.1 Determinação das Cotas Zero dos primeiros lances das Réguas Linimétricas Referentes às Estações Fluviométricas: Jataizinho – 64507000, Canal de Fuga Jataizinho – 64506500 e Chácara Ana Cláudia – 64506000.

Conhecendo-se a localização *in situ* das referências de nível – RNs – das réguas linimétricas referentes às estações fluviométricas Jataizinho – 64507000, Canal de Fuga Jataizinho – 64506500 e Chácara Ana Cláudia – 64506000, coordenadas geodésicas das RNs foram obtidas através de técnicas *GNSS*. O resultado da cota zero foi determinado subtraindo-se o valor da altitude da

RN obtida por técnicas *GNSS* pela altura da RN fixa *in situ*, ora em m ora em mm, dado pela (Equação 17).

$$C0_{gnss} = RN_{gnss} - RN \quad (17).$$

Sendo:

$C0_{gnss}$ = Altitude da cota zero.

RN_{gnss} = Altitude ortométrica da RN obtida com base em técnicas *GNSS.*

RN = Altura da RN fixa no local - marco.

Os lances de régua e o uso de receptores geodésicos podem ser observados na (Figura 11) a (Figura 19).

Figura 11. Lances de régua da estação fluviométrica Jataizinho 64507000. Margem esquerda do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 22/09/2014.

Figura 12. Referência de nível 1 – RN1, da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Margem esquerda do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 22/09/2014.

Figura 13. Receptor geodésico – base, utilizado para a coleta das coordenadas geodésicas dos lances de régua e RNs da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Margem esquerda do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 22/09/2014.

Figura 14. Lances de régua da estação fluviométrica Canal de Fuga Jataizinho – 64506500. Margem direita do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 01/05/2015.

Figura 15. Referência de nível 1 – RN1, da estação fluviométrica Canal de Fuga Jataizinho – 64506500. Margem direita do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 01/05/2015.

Figura 16. Receptor geodésico – *rover*, utilizado para a obtenção de coordenadas geodésicas da RN1, referente à estação fluviométrica Canal de Fuga Jataizinho – 64506500. Margem direita do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 01/05/2015.

Figura 17. Lances de régua da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000. Margem esquerda do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 01/05/2015.

Figura 18. Referência de nível 3 – RN3, da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000. Margem esquerda do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 01/05/2015.

Figura 19. Receptor geodésico – *rover*, utilizado para a obtenção de coordenadas geodésicas da RN3, referente à estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000. Margem esquerda do Rio Tibagi.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: 01/05/2015.

A técnica *GNSS* empregada foi a relativa estática rápida pós-processada, utilizando-se dois receptores geodésicos, um como base e outro como *rover* (Monico, 2008). A fim de aumentar a produtividade em campo, o tempo de coleta dos dados *in situ* oscilou entre 5 minutos e 10 minutos. Os dados foram pós-processados através do *software GNSS Solutions.*

O *datum* planimétrico utilizado foi o SIRGAS 2000, de modo que a altitude elipsoidal também foi obtida com base neste *datum.* A projeção adotada foi a Universal Transversa de Mercator – UTM. A altitude geométrica elipsoidal foi convertida para altitude ortométrica – em relação ao geóide ou ao nível médio dos mares – através de um modelo de ondulação geoidal para o território brasileiro. Para isso, fez-se o uso do software MAPGEO 2010, disponível em BRASIL (2015).

É válido pontuar que foram obtidas coordenadas geodésicas em pontos dentro da cidade de Jataizinho e adjacentes a esta, a fim de serem utilizadas para o georreferenciamento de imagens orbitais e para a construção de um modelo estereoscópico digital da área urbana de Jataizinho, etapas que serão discutidas mais adiante.

4.5.2.2 Determinação da cota zero do primeiro lance da régua linimétrica referente ao nível montante da UHE Capivara – Reservatório de Capivara.

Para a obtenção da cota zero da UHE Capivara, fez-se o uso não apenas de técnicas *GNSS*, mas, também, de técnicas de topografia. Estas também foram utilizadas para se determinar a altitude que o nível do Rio Tibagi alcançou em locais onde não houve acesso, por exemplo, trilhos de trem que cruzam o referido canal fluvial.

No caso da obtenção da cota zero da régua linimétrica referente ao nível montante da UHE Capivara, após a materialização de um ponto em área rural adjacente à UHE Capivara, com o intuito de se obter as coordenadas geodésicas deste ponto, utilizou-se uma estação total sem prisma, modelo Topcon GPT 3107w, sobre o mesmo ponto materializado, a fim de se calcular a altitude da crista da barragem. Imagens da UHE Capivara podem ser observadas na (Figura 20), (Figura 21), (Figura 22) e (Figura 23).

Figura 20. UHE Capivara: Vertedouro, blocos dispersores e talude de jusante.



UHE Capivara vista da ponte sobre o Rio Paranapanema, divisa entre os municípios de Taciba – SP e Porecatu – PR. No centro, vertedouro e blocos dispersores. À direita, talude de jusante Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: outubro de 2013.

Figura 21. UHE Capivara: Talude de montante e crista.



Notar contato entre o Reservatório de Capivara e o talude de montante – rochas e postes de iluminação sobre a crista da barragem. Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: agosto de 2015.

Figura 22. UHE Capivara: Talude de jusante.



Conforme Silva (2007), da base à crista, a barragem possui altura de 60 m.
Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: agosto de 2015.

Figura 23. UHE Capivara: Crista da barragem.



Fonte: SOUSA, R. V. B. Data: setembro de 2015.

Os materiais utilizados em campo, tanto para a obtenção das coordenadas geodésicas através de técnicas *GNSS* como para os levantamentos topográficos, foram adquiridos junto ao Laboratório de Topografia, Geodésia e Astronomia – LATOGEO, do Departamento de Cartografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” da Faculdade de Ciências e Tecnologia –

FCT/UNESP. Os materiais utilizados constam no (Quadro 4). Também foram utilizados receptores GPS geodésicos do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Quadro 4. Equipamentos e materiais utilizados em campo para a obtenção de coordenadas geodésicas e levantamentos topográficos.

Quantidade	Equipamentos/Materiais
2	Receptores GPS Topcon GGD
1	Estação total TOPCON GPT 3107w
2	Tripés de alumínio
2	Bases nivelantes
1	Trena de 3 metros
2	Piquetes
1	Marreta
6	Perneiras
1	Caixa
2	Carregadores para GPS GGD
1	GPSmap 78 navegação Garmim

Organizado por SOUSA, R. V. B.

A altitude da crista da barragem foi obtida por meio da (Equação 18). Considerações sobre o cálculo de altitudes podem ser averiguadas em Domingues (1979, p.226).

$$ZA = Z0 + Vz + \Delta h - Dv \qquad (18).$$

Sendo:

ZA: Altitude do alvo (crista da barragem) (m).

Z0: Altitude do ponto materializado (m).

Vz: Ângulo da zenital em graus, minutos e segundos, convertido para grau decimal.

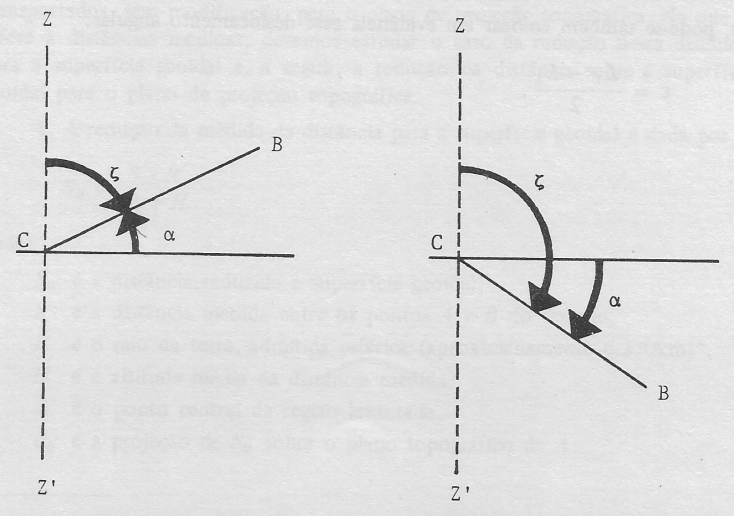
Δh: Altura do equipamento em relação ao chão (m).

Dv: Desnível vertical entre o equipamento e Zp (%).

Embora o ângulo vertical tenha sido calculado automaticamente pela estação total, é importante fazer algumas considerações sobre ele. De acordo com

Domingues (1979, p.147), a medida do ângulo de uma direção *CB* pode ter a sua origem no zênite – ângulo de distância zenital – ou no horizonte – ângulo de inclinação. Assim, a distância zenital (ζ) varia entre 0º e 180º, sempre positivo. Sendo (ζ) menor que 90º, a direção *CB* é ascendente; enquanto se (ζ) for maior que 90º, a direção *CB* é descendente. Com relação ao ângulo de inclinação (α), este varia entre 0º e 90º e é positivo para as retas ascendentes e negativo para as retas descendentes (Figura 24). Nesta pesquisa, todos os ângulos zenitais e ângulos de inclinação calculados foram negativos, de modo que as retas entre o equipamento e o alvo foram descendentes.

Figura 24. Representação esquemática do ângulo zenital e do ângulo de inclinação.



Fonte: Domingues (1979, p.147).

A conversão do ângulo da zenital – em graus, minutos e segundos – para grau decimal foi realizada através da (Equação 19).

$$(\zeta)GD = (\zeta)GMS + (X'/60) + (X''/3600) \qquad (19)$$

Sendo:

(ζ)GD: Ângulo da zenital em grau decimal.

(ζ)GMS: Ângulo da zenital em graus, minutos e segundos.

X': Minutos.

X”: Segundos.

Convém ressaltar que a estação total utilizada calcula automaticamente, além do Dv, a distância inclinada e a distância horizontal. O valor do Dv em porcentagem, portanto, teoricamente é calculado através da (Equação 20).

$$Dv = (\Delta h/DH)\ 100 \quad (20)$$

Sendo:

Dv: Desnível vertical entre o equipamento e ZA (%).

Δh: Altura do equipamento em relação ao chão (m).

DH: Distância horizontal (m).

Por meio de trigonometria, o Dv também pode ser calculado através da (Equação 20) e (Equação 21).

$$Dv = DH\ tg\alpha \quad (21)$$

ou

$$Dv = DI\ sen\alpha \quad (22)$$

Sendo:

Dv: Desnível vertical entre o equipamento e ZA.

DH: Distância horizontal.

DI: Distância inclinada.

α: Ângulo da zenital.

De posse das coordenadas geodésicas do ponto materializado, obtidas previamente através do pós-processamento dos dados *GNSS,* e após o cálculo da altitude ortométrica da crista da barragem, calcularam-se as coordenadas planimétricas desta, especificamente a latitude e a longitude, através da (Equação 23) e (Equação 24). Considerações acerca do transporte de coordenadas

geodésicas de um ponto qualquer a outro podem ser averiguadas em Garcia-Tejero (1998, p.285).

$$XA = X0 + DH\ SenVz \quad (23)$$

e

$$YA = Y0 + DH\ CosVz \quad (24)$$

Sendo:

XA: Longitude do alvo (m).

X0: Longitude do ponto materializado (m).

YA: Latitude do alvo (m).

Y0: Latitude do ponto materializado (m).

DH: Distância horizontal (m).

Vz: Ângulo da zenital em grau decimal.

Somente após o cálculo da altitude ortométrica da crista da barragem*,* foi possível calcular, com precisão *GNSS,* a cota zero da régua do nível montante do reservatório. Como não houve acesso aos lances de régua e tão pouco à crista da barragem, reforçando que as medidas topográficas foram feitas de uma área rural adjacente à UHE Capivara, fez-se o uso de dados secundários, a fim de obter um resultado da cota zero da régua linimétrica que satisfizesse, dentro das possibilidades, as necessidades da pesquisa. Assim, foram utilizadas informações contidas no histórico da UHE Capivara, disponibilizado pela Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA –, e também informações disponibilizadas no site da *Duke Energy* (Tabela 4).

Tabela 4. Dados sobre a estação fluviométrica do reservatório – nível de montante, da UHE Capivara.

Lances de régua	Altitude (m)*	Amplitude (m)**
Cota zero / 1º	324	
2º	325	1
3º	326	2
4º	327	3
5º	328	4
6º	329	5
7º	330	6
8º	331	7
9º	332	8
10º	333	9
11º	334	10
12º	335	11
13º	336	12
14º	337	13
15º	338	14
Crista da barragem	339	15

Fonte: SGH/ANA e Duke Energy. (*) Não possui informação quanto ao *datum* vertical utilizado. (**). Diferença altimétrica calculada a cada lance de régua.

Com base nessas informações, a altitude da cota zero da régua linimétrica referente ao nível montante da UHE Capivara, isto é, do reservatório, foi calculada através da (Equação 25).

$$C0_{GNSS} = CR_{GNSS} - 15\ m \qquad (25).$$

Sendo:

$C0_{GNSS}$: Cota zero *GNSS.*

CR_{GNSS}: Crista *GNSS*.

4.5.3 Identificação de Episódios de Inundação, na Cidade de Jataizinho, Através da Consulta do Banco de Dados da Prefeitura de Jataizinho, dos Registros da Defesa Civil do Paraná e de Matérias de Jornais.

Datas com ocorrência de inundação, na cidade de Jataizinho, foram consultadas no banco de dados que a prefeitura de Jataizinho possui acerca dos

desastres naturais que já afetaram a cidade. Esse banco de dados, porém, não possui informações em alguns anos, devido às mudanças de gestão da prefeitura. Dessa forma, essa busca também foi realizada no Cadastro da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná e junto à Defesa Civil de Ibiporã – PR –, uma vez que este município se situa na margem oposta do Rio Tibagi. Também foi realizada uma pesquisa sobre ocorrência de inundações na cidade de Jataizinho em matérias de jornais da Folha de Londrina, visto ser este o principal jornal de circulação local da cidade. A consulta foi realizada no Centro de Documentação e Pesquisa Histórica – CDPH, da Universidade Estadual de Londrina – UEL – e na Biblioteca Municipal de Londrina. Vale destacar que o CDPH se dedica, primeiramente, ao tema História Local/Regional, possuindo coleções sobre Londrina e o Norte do Paraná; concomitantemente, atende as linhas de pesquisa do Departamento de História, a saber: História e Ensino; História e Linguagens; Práticas Culturais, Memória e Imagem; Territórios do Político. O seu acervo está à disposição dos pesquisadores e da comunidade em geral.

Inicialmente, realizou-se uma consulta prévia no *site* do jornal Folha de Londrina através de palavras-chave – tais quais inundação, enchente, Jataizinho – com o intuito de identificar alguns anos em que ocorreram inundações na cidade de Jataizinho. Constatou-se que o *site* possui uma ferramenta de busca a partir do ano de 1996. Dessa forma, devido à limitação de recursos financeiros, corpo técnico e tempo para a realização da consulta destes materiais nas bibliotecas físicas, não houve condições em examinar jornais anteriores ao ano de 1996. A consulta, portanto, foi realizada de 1996 ao presente. Registros de inundações a partir de 2015 foram consultados somente na internet.

Para cada matéria encontrada, foram elaboradas fichas de resumo, nas quais foram anotadas as informações mais relevantes. Na sequência, em gabinete, foi feita a leitura de todas as fichas e montou-se um quadro a fim de organizar as informações contidas nas fichas.

As informações de cada ficha de resumo foram divididas em quatro colunas no quadro: data do episódio de inundação, informações hidrológicas, informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas e impactos socioeconômicos. Complementarmente, foram acrescentadas informações referentes aos dados hidrológicos da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, como vazão e cota

fluviométrica, e informações relacionadas a inundações registradas pela Defesa Civil de Jataizinho.

Ao todo, foram lidas 53 matérias de jornais, porém apenas uma parte foi de fato utilizada, tendo em vista que algumas não estavam diretamente relacionadas ao objeto de investigação.

Os dados históricos possibilitaram obter não apenas informações hidroclimáticas, a princípio o principal objetivo desta etapa da pesquisa, mas também informações acerca dos impactos socioeconômicos decorrentes de inundações na cidade.

Vale ressaltar que, em algumas pesquisas vinculadas à paleoclimatologia, os cientistas fazem uso de *proxy data* a fim de reconstituir condições climáticas do passado. Assim, *proxy data* pode ser definido como características físicas preservadas do ambiente, as quais podem ser utilizadas para medidas diretas. Dessa forma, os paleoclimatologistas procuram reunir *proxy data* dos registros naturais de climas pretéritos, os quais podem explicar a variabilidade climática. Dentre alguns *proxy data,* podem ser citados anéis de árvores, núcleos de gelo, pólen fossilizado, sedimentos do oceano e dados históricos (NOAA, 2015d).

Acerca dos documentos históricos, estes podem conter uma riqueza de informações sobre climas passados. Observações das condições meteorológicas e climáticas podem ser encontradas em navios, diários de agricultores e viajantes, relatos de jornais e outros documentos escritos. Quando devidamente avaliados, os documentos históricos podem produzir tanto informações qualitativas como quantitativas (NOAA, 2015d).

Informações sobre as mudanças climáticas durante o quaternário, com bons exemplos de dados obtidos através de vários tipos de *proxy data*, podem ser consultadas em Suguio (2010).

Se os dados históricos têm importância relevante para a reconstituição de climas pretéritos, logo, de ambientes passados que estão vinculados ao tempo geológico – tempo longo –, certamente são importantes para o entendimento da dinâmica hidroclimática circunscrita ao tempo histórico – tempo curto. Nesta pesquisa, reserva-se o termo *proxy data* somente para as pesquisas de cunho paleoclimatológico, mesmo quando feito uso de dados históricos. A intenção

foi apenas chamar a atenção sobre a importância destes dados para a compreensão da dinâmica climática, portanto, hidrológica, vinculada ao tempo longo ou ao tempo curto.

4.6 Relacionamento Hidrométrico Entre Dados Pluviométricos e Dados de Estações de Monitoramento do Rio Tibagi e do Reservatório da UHE Capivara.

4.6.1 Regressão Linear Múltipla.

O relacionamento entre as variáveis hidrométricas deu-se por meio de regressão multivariada, especialmente regressão linear múltipla. Conforme Afifi, May e Clark (2012, p.119) e Chatterjee e Hadi (2012, p.1), a regressão múltipla é utilizada quando se deseja examinar a relação entre uma variável dependente ou variável resposta – Y – e um conjunto de variáveis independentes, também entendidas como variáveis preditoras ou explicativas – X1, X2, ...Xp –, em que *p* denota o número de variáveis preditoras. A relação entre a variável resposta e as variáveis preditoras é expressa por meio de uma equação ou modelo.

De acordo com Chatterjee e Hadi (2012, p.57), o modelo que descreve uma regressão linear múltipla é dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_p X_p + \varepsilon \qquad (27),$$

em que $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \cdots \beta_p$ são constantes denominadas por coeficientes de regressão partidal ou simplesmente coeficientes de regressão; enquanto ε é uma perturbação aleatória ou erro. Assume-se que, para um conjunto de valores fixos de X_1, X_2, $\cdots X_p$ que caem dentro do rol de dados, o modelo proporciona uma aproximação aceitável da verdadeira relação entre a variável resposta e as variáveis explicativas.

Devido à alta complexidade matemática para se obter os coeficientes de uma dada regressão linear múltipla e para se realizar testes estatísticos relacionados, tanto ao modelo como aos β_s individualmente, faz-se necessário o uso de *softwares* estatísticos. Desse modo, foi utilizado o software *R Core Team* (2016).

Os testes de regressão linear múltipla foram realizados para quatro cenários: Cenário 1 – incluindo os dados hidrométricos de uma dada amostra da

população, especificamente 583 dados, sendo 4 dados referentes a episódios de inundação e 579 dados referentes a datas sem inundação; Cenário 2 – incluindo os dados hidrométricos de uma dada amostra da população, os mesmos do cenário 1, porém inserindo os dados hidrométricos pertencentes a todas as datas de inundação, 36 no total; Cenário 3 – incluindo dados hidrométricos referentes unicamente aos episódios de inundação; Cenário 4 – incluindo dados hidrométricos das datas que compõem os hidrogramas de cada episódio de inundação.

No que se refere à amostragem dos dados para a análise dos cenários 1 e 2, utilizou-se como base as obras de Triola (2005, p.228) e Levine *et al.* (2011, p.217). Nesse ponto de vista, a amostragem foi realizada através da técnica probabilística aleatória simples, e o tamanho da amostra foi determinado por meio da técnica para populações finitas. O grau de confiança adotado na determinação do tamanho da amostra foi de 95%; enquanto os valores críticos associados ao grau de confiança da amostra foram: valor alfa – α ou margem de erro igual a 0.05, isto é, 5% e valor crítico Zα/2 de 1.96. O tamanho da amostra foi determinado através da (Equação 28).

$$n = N\,\sigma^2\,(Z_{\alpha/2})^2 / (N-1)\,E^2 + \sigma^2\,(Z_{\alpha/2})^2$$

sendo:

n = tamanho da amostra.

$Z_{\alpha/2}$ = valor crítico que corresponde ao grau de confiança.

σ = desvio-padrão.

E = margem de erro ou erro máximo da estimativa. Identifica a diferença máxima entre a média amostral e a média populacional.

Ao todo foram testadas 29 variáveis independentes, subdivididas em 4 grupos, sendo a cota altimétrica do Rio Tibagi referente à EF Jataizinho – 64507000 a variável dependente da regressão (Quadro 5).

Quadro 5. Variáveis testadas nas regressões lineares múltiplas.

Grupo	***Variáveis***	***Nomes***
Grupo 1	**X1**	Cota altimétrica UHE Capivara (m)
	X1B	Cota altimétrica UHE Capivara (m) (defasada em 1 dia)
	X1C	Cota altimétrica UHE Capivara (m) (defasada em 2 dias)
	X1D	Cota altimétrica UHE Capivara (m) (defasada em 3 dias)
	X1E	Cota altimétrica UHE Capivara (m) (defasada em 4 dias)
	X1F	Cota altimétrica UHE Capivara (m) (defasada em 5 dias)
	X1G	Cota altimétrica UHE (defasada em 6 dias)
	X1H	Cota altimétrica UHE Capivara (m) (defasada em 7 dias)
Grupo 2	**X2**	Cota acum. da UHE Capivara (m) dos últimos 2 dias (m)
	X2B	Cota acum. da UHE Capivara (m) dos últimos 3 dias (m)
	X2C	Cota acum. da UHE Capivara (m) dos últimos 4 dias (m)
	X2D	Cota acum. da UHE Capivara (m) dos últimos 5 dias (m)
	X2E	Cota acum. da UHE Capivara (m) dos últimos 6 dias (m)
	X2F	Cota acum. da UHE Capivara (m) dos últimos 7 dias (m)
Grupo 3	**X4**	Precipitação média acumulada de 1 dia (Thiessen (mm))
	X4B	Precipitação média acumulada de 2 dias (Thiessen (mm))
	X4C	Precipitação média acumulada de 3 dias (Thiessen (mm))
	X4D	Precipitação média acumulada de 4 dias (Thiessen (mm))
	X4E	Precipitação média acumulada de 5 dias (Thiessen (mm))
	X4F	Precipitação média acumulada de 6 dias (Thiessen (mm))
	X4G	Precipitação média acumulada de 7 dias (Thiessen (mm))
Grupo 4	**X9**	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara.
	X9B	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 1 dia)
	X9C	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 2 dias)
	X9D	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 3 dias)
	X9E	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 4 dias)
	X9F	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 5 dias)
	X9G	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 6 dias)
	X9H	Índice de Razão de Vazão – IRQ, da UHE Capivara (defasado em 7 dias)
Variável dependente	**Y**	Cota altimétrica do Rio Tibagi referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000

Organizado por SOUSA, R. V. B.

Quanto às variáveis correspondentes ao Índice de Razão de Vazão – IRQ –, é válido destacar que este índice foi proposto para a presente pesquisa, com o intuito de verificar o comportamento de retenção e liberação de água no reservatório de Capivara nas datas em que ocorreram transbordamentos do Rio Tibagi. Assim, o IRQ é dado por:

$$IRQ = Qd/Qa \quad (29)$$

sendo:

Qd: Vazão defluente da barragem.

Qa: Vazão afluente da barragem.

Utilizou-se a seguinte metodologia para selecionar as variáveis a serem testadas por meio de regressão linear múltipla: inicialmente, os dados de todas as variáveis foram normalizados; depois, com base em uma matriz de correlação, foram selecionadas as variáveis de cada grupo com maior coeficiente de correlação em módulo – *r*, desprezando-se valores de correlação entre -0.3 e 0.3.

Na análise da matriz de correlação, atentou-se para as variáveis de grupos distintos que apresentavam coeficientes de correlação muito altos em módulo, com valor igual ou superior a 0.95 e igual ou inferior a -0.95, sob o risco de ocorrer algum erro durante o teste de regressão múltipla. Nessas situações, optou-se por escolher a variável que apresentasse melhor coeficiente de determinação – r^2 com a variável dependente, de modo que os valores de r^2 foram obtidos por meio de regressões lineares simples. Em caso de existência de valores de r^2 iguais ou com valores muito próximos, inseriram-se ambos na regressão linear múltipla e, após a análise dos parâmetros e das estatísticas geradas, a melhor variável foi mantida na regressão múltipla. Na prática, sabe-se que ao inserir, em um modelo, diferentes variáveis com coeficientes de correlação altos entre si, estas se tornam redundantes, sendo uma delas não necessária. Devido a isso, foi dada atenção a este fator.

Entretanto, durante a análise da matriz de correlação, caso fosse constatada a existência de mais de uma variável explicativa por grupo, com valor de coeficiente de correlação dentro do nível de corte, isto é, abaixo de -0.3 ou superior 0.3, optou-se por aplicar uma regressão usando a técnica de *Stepwise*, um método automatizado para seleção das variáveis preditoras mais significativas e para determinação do modelo com melhor ajuste. A técnica de *Stepwise* foi aplicada por meio do pacote MASS do *software* R, desenvolvido por Venables e Ripley (2002). Para a realização do teste, utilizou-se o método *backward*.

Salienta-se que a técnica de *Stepwise* do pacote MASS utiliza o Critério de Informação de Akaike - AIC para determinar qual é o modelo que possui melhor ajuste. De modo simples, o critério AIC aumenta na medida em que aumenta a Soma dos Quadrados Explicada – SQE e penaliza modelos com muitas variáveis, de modo que valores menores de AIC são preferíveis. Tendo em vista que modelos com muitas variáveis tendem a gerar menor SQE, ao se utilizar mais parâmetros, recomenda-se balancear o ajuste do modelo à quantidade de variáveis. Nesse

aspecto, utilizaram-se apenas as variáveis com os p-valores mais significativos de cada grupo para aplicar o teste de *Stepwise*[4].

Evitou-se, porém, fazer uso somente de técnicas automatizadas, valorizando-se, também, uma análise visual das variáveis, *a priori*, a partir da matriz de correlação e, consequentemente, dos parâmetros e das estatísticas referentes ao modelo. Além disso, quando variáveis explicativas foram selecionadas por métodos automatizados, procurou-se analisar o perfil da população dos dados destas variáveis, a fim de verificar se estas realmente faziam sentido para o modelo.

Embora o coeficiente de correlação linear – *r* e o coeficiente de determinação – r^2 sejam utilizados frequentemente em análises estatísticas, convém destacar a diferença entre estes coeficientes.

Assim, segundo Triola (2012, p.412), o coeficiente de correlação linear – *r* mede a intensidade da relação linear entre os valores quantitativos de *x* e *y* em uma dada amostra. O valor *r* deve ser entre -1 e 1, de modo que valores muito próximos a zero indicam que não há correlação linear significativa entre *x* e *y*; enquanto valores próximos a -1 ou 1 indicam que há correlação significativa entre *x* e *y*. A fim de afastar qualquer subjetividade ou dúvida sobre o quesito de haver ou não correlação significativa entre *x* e *y*, pode-se utilizar a tabela com os valores críticos do coeficiente de correlação de *Pearson r*, ou verificar se o p-valor de *r* é menor ou igual ao nível de significância, geralmente $\alpha = 0.05$.

No que tange o coeficiente de determinação – r^2, conforme Triola (2012, p.444), este representa a quantidade de variação em *y* que é explicada pela reta de regressão, ou seja, pela relação linear entre *y* e *x*. O coeficiente de determinação – r^2, portanto, é a proporção da variação total que é explicada. Em

---

[4] Informações sobre a interpretação do critério AIC foram obtidas no site *Portal Action*. Disponível em: <www.portalaction.com>. Acesso em: 27, mar, 20017. Houve, também, a participação de fóruns de discussão virtual sobre esta técnica. Constatou-se que, atualmente, o critério AIC é muito utilizado para a escolha do melhor modelo, sendo largamente implementado nos *softwares* estatísticos; embora teoricamente seja uma técnica de difícil entendimento. Em pesquisas realizadas na *web,* observou-se que alguns dos autores que mais discutem esta técnica, no âmbito teórico, são: Akaike (1969, 1973, 1978) e Burnham e Anderson (1998).
Quanto à previsão de *y* por meio da equação de regressão, numa coleção de pares de dados que contém ponto amostral (*x,y)*, em que *y*^ seja o valor previsto de *y,* envolve algumas variações entre *y* e o seu valor previsto. Nesse sentido, existem o desvio total, o desvio explicado e o desvio não-explicado. Caso os quadrados dos desvios sejam somados usando-se todos os pontos (*x,y)*, obtém-se a quantidade de variação, subdividida em variação total, variação explicada e variação não explicada. Salienta-se que as mesmas relações dos desvios se aplicam às variações. Assim, informações adicionais acerca da soma dos quadrados explicada – SQE, ou a soma dos quadrados dos valores do desvio explicada, isto é, a variação explicada, podem ser obtidas em Triola (2012, p.444).

outros termos, o r^2 procura expressar a variação total de *x* que é explicada por *y.* Para a obtenção de r^2, eleva-se *r* ao quadrado ou calcula-se a razão entre variação explicada – numerador – e variação total – denominador. Devido ao uso corriqueiro, tanto do *r* como do r^2, dispensou-se as apresentações das notações destas estatísticas.

Na ocasião de terem sido selecionados dois ou mais modelos para um mesmo cenário, prezou-se aquele com menor critério AIC, maior coeficiente de determinação múltipla – R^2, maior coeficiente de determinação múltipla ajustado – R^2 ajustado, menor p-valor ou valor P e maior valor F. Evitou-se pontuar qual é a melhor variável explicativa do modelo, pautando-se apenas no p-valor mais significativo, uma vez que na teoria isso não se aplica, pois toda a variável com p-valor significativo tem a sua significância ou importância para o modelo. Tampouco procurou-se fazer esta pontuação com base nos parâmetros β das variáveis, tendo em vista que os valores destes são influenciados pela grandeza e unidade de medida da variável, mesmo que estes sejam normalizados. Isto posto, os parâmetros β foram importantes, principalmente, para descrever o comportamento de uma dada variável independente em relação à variável dependente. Em síntese, $\beta < 0$ (negativo) indica que a variável X aumenta (diminui), ao passo que a variável Y diminui (aumenta), ou seja, a relação de conformidade é inversamente proporcional; por outro lado, $\beta > 0$ (positivo) indica que, à medida em que X aumenta (diminui), Y também aumenta (diminui), isto é, a relação de conformidade é diretamente proporcional.

Com base em Triola (2012, p.452), o coeficiente de determinação múltipla – R^2 é uma média de como a equação de regressão múltipla se ajusta aos dados amostrais. Valor de R^2 igual a 1 denota ajuste perfeito, de modo que valor de R^2 próximo a 1 apresenta ajuste muito bom. Por sua vez, ajuste ruim resulta em valor de R^2 próximo a 0.

Todavia, o coeficiente de determinação múltipla – R^2 apresenta um grande problema: na medida em que mais variáveis são inseridas na regressão, o valor de R^2 aumenta. Sabe-se, entretanto, que o melhor modelo não usa, necessariamente, todas as variáveis. Por conta disso, emprega-se o coeficiente de determinação múltipla ajustado – R^2 ajustado. O R^2 ajustado pode ser entendido, portanto, como uma modificação do coeficiente de determinação múltipla – R^2 que

leva em consideração o número de variáveis e o tamanho amostral (TRIOLA, 2012, p.452).

Acerca da estatística F, esta é considerada um teste de hipótese que tem por objetivo verificar se um dado modelo é adequado. Para compreender este teste, assume-se que um dado modelo descrito sob a notação geral de uma regressão múltipla é compreendido como um modelo completo – *full model (FM).* A hipótese nula a ser testada especifica valores para alguns dos coeficientes de regressão; quando estes valores são substituídos no modelo completo, o modelo resultante é denominado por modelo reduzido – *reduced model (RM).* Testa-se, então, a hipótese nula contra a hipótese alternativa, a saber, H_0: modelo reduzido é adequado contra H_1: modelo completo é adequado (CHATTERJEE e HADI, 2012, p.71).

Assim, Chatterjee e Hadi (2012, p.71) apontam que caso o valor F observado na regressão linear múltipla seja maior em comparação ao valor crítico de F, identificado na tabela de distribuição F, o resultado é significante ao nível α, isto é, o modelo reduzido é insatisfatório e a hipótese nula com os valores β_s sugeridos para o modelo completo é rejeitada. Adequadamente, a hipótese nula é rejeitada se:

$$F \geq F_{(p+1-k,n-p-1;\alpha)} \tag{30}$$

ou, equivalente, se:

$$p(F) \leq \alpha \tag{31}$$

sendo:

F = valor do teste F observado na regressão.

$F_{(p+1-k,n-p-1;\alpha)}$ = valor crítico de F observado na tabela de distribuição F.

n-p-1 = graus de liberdade – Df.

α = nível de significância e

$p(F)$ = p-valor do teste F.

Com relação ao valor P, este é uma medida da significância global da equação de regressão múltipla. O objetivo do valor P é demonstrar o quão bem a equação se ajusta aos dados amostrais. Deve ser entendido como um teste de hipótese nula em que $\beta 1 = \beta 2 = 0$. A rejeição da hipótese $\beta 1 = \beta 2 = 0$, implica que

pelo menos um dos dois coeficientes, *β1* ou *β2*, não é 0, indicando que a regressão é eficaz para a previsão de Y (TRIOLA, 2012, p.452).

O valor P, também denominado por valor p, p-valor ou, ainda, valor de probabilidade, pode ser entendido como a probabilidade em se obter um valor de uma dada estatística de teste, no mínimo, tão extremo quanto o valor que representa os dados amostrais, supondo que a hipótese nula seja verdadeira. O critério de decisão em rejeitar ou deixar de rejeitar a hipótese nula é estabelecido da seguinte forma: rejeita-se H_0 se o p-valor ≤ α; não se rejeita H_0 se p-valor ≥ α, sendo α o nível de significância, por exemplo 0.05 (TRIOLA, 2012, p.312).

Em regressão linear múltipla, o método do p-valor é aplicado tanto para avaliar a eficiência do modelo como dos coeficientes das variáveis do modelo, ou seja, dos β_s. Segundo Triola (2012, p.312), o uso do método do p-valor tem aumentado consideravelmente nos últimos anos devido à inclusão deste método nos resultados de muitos pacotes estatísticos.

Para a análise das variáveis explicativas, mais precisamente dos coeficientes destas, os β_s, atentou-se para os p-valores e para os testes *t* correspondentes a cada *β*. Como já foram apresentadas algumas ideias gerais acerca do p-valor, serão feitas breves considerações sobre o teste *t.*

Conforme Chatterjee e Hadi (2012, p.69), o teste *t* deve se entendido como um teste de hipótese em que se procura avaliar se um dado *β* é significativo para o modelo. Desse modo, valendo-se das propriedades dos mínimos quadrados, a estatística de teste *t* prova a hipótese nula contra a hipótese alternativa − não nula. Caso o valor *t* observado seja maior em comparação ao valor crítico de *t* (identificado na tabela de distribuição t – valores críticos de *t*), o resultado é significante ao nível α, isto é, a hipótese nula é rejeitada. Adequadamente, a hipótese nula é rejeitada se:

$$|t_j| \geq t_{(n-p-1,\alpha/2)} \tag{32}$$

ou, equivalente, se:

$$p(|t_j|) \leq \alpha \tag{33}$$

sendo:

$|t_j|$= o valor absoluto de t.

$t_{(n-p-1,\alpha/2)}$ = valor crítico de t observado na tabela de distribuição t – valores críticos de t.

n-p-1 = graus de liberdade – Df.

α = nível de significância e

$p(|t_j|)$ = p-valor do teste t.

Na prática, o teste *t* tem por objetivo comprovar o quanto o *β* de cada variável explicativa é significativamente diferente de 0, em outras palavras, a significância do β. Sendo *t* maior que o valor crítico de *t*, considera-se *β* significativamente diferente de 0, denotando correlação com a variável resposta. Por sua vez, sendo *t* menor que *t* crítico, considera-se que *β* não é significativamente diferente de 0, logo, não denota correlação com a variável resposta.

Com relação à interpretação do valor *t,* esta deve ser feita com base nas mesmas relações de conformidade e proporcionalidade dos valores dos β_s.

Durante a análise dos modelos, excluíram-se variáveis explicativas cujos valores *t* referentes aos β_s apresentavam-se menores que o valor *t crítico*. O objetivo disso foi minimizar o número de variáveis explicativas, contribuindo para melhor eficácia do modelo.

Sob um ponto de vista mais cauteloso, procurou-se apontar qual é a variável explicativa que melhor se ajusta à variável resposta, mas não qual é a melhor variável explicativa do modelo, consideradas coisas distintas. Para isso, utilizou-se conjuntamente o *p-valor* e o valor *t* dos β_s.

4.6.2 Construção de Hidrogramas do Rio Tibagi Referentes a Episódios de Inundação na Cidade de Jataizinho.

De acordo com Tucci (2001, p.291), o hidrograma é a denominação dada ao gráfico que faz a relação vazão-tempo. A distribuição da vazão no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão numa dada bacia hidrográfica.

Segundo Tucci (2001, p.391), a forma do hidrograma depende de uma grande quantidade de fatores, sendo os mais importantes:

- Relevo (densidade de drenagem, declividade do rio ou bacia, capacidade de armazenamento e forma). Uma bacia com boa drenagem e grande declividade apresenta hidrograma íngreme com pouco escoamento de base. Quanto à forma da bacia, uma bacia do tipo radial concentra o escoamento,

aumentando e concentrando o pico quando comparada a uma bacia com forma alongada, a qual possui escoamento predominante no canal principal e percurso mais longo até a seção principal, amortecendo as vazões.

- Cobertura da bacia. Cobertura vegetal tende a retardar o escoamento e aumentar as perdas por evaporação. Em bacias urbanas, onde a cobertura é alterada, onde estas se tornam mais impermeáveis e onde há o acréscimo de uma rede de drenagem mais eficiente, o escoamento superficial e o pico aumentam.
- Modificações artificiais no rio. Um reservatório para regularização da vazão tende a reduzir o pico e distribuir o volume; enquanto a canalização tende a aumentar o pico.
- Distribuição, duração e intensidade da precipitação. Quando a precipitação se concentra na parte inferior da bacia, deslocando-se em seguida para montante, é possível que o hidrograma tenha até dois picos. Quando a precipitação é constante, a capacidade de armazenamento e o tempo de concentração são atingidos, estabilizando o valor de pico. Terminando a precipitação, o hidrograma entra em recessão.
- Solo. As condições iniciais de umidade do solo são fatores que podem influenciar, consideravelmente, o escoamento que advém das precipitações de pequeno volume, alta e média intensidade. Quando o estado de umidade da cobertura vegetal, das depressões, da camada superior do solo e do aquífero forem baixos, boa parcela da precipitação é retida, de modo que o hidrograma é reduzido.

Para a elaboração dos hidrogramas, utilizou-se como base teórica a obra de Villela e Mattos (1975, p.104), com algumas alterações na forma de se realizar o cálculo de algumas componentes, por exemplo, o volume total escoado.

Assim, inicialmente tem-se que o volume total precipitado sobre uma bacia hidrográfica é dado por:

$$Vtot = Ptot \times AD \quad (34)$$

Sendo:

Vtot = Volume total precipitado sobre a bacia hidrográfica.

Ptot = Precipitação total.

AD = Área de drenagem da bacia hidrográfica.

A separação entre o escoamento superficial e o fluxo de base é feita manualmente, traçando-se uma reta entre o momento em que se inicia o aumento da vazão e o momento em que esta retorna ao valor inicial ou próximo a este - curva de depleção do escoamento superficial.

Dessa forma, para cada instante i, a vazão de escoamento superficial equivale à diferença entre a vazão observada e o fluxo de base – vazão de base:

$$Qsi = Qobsi - Qbi \quad (35)$$

sendo:

Qsi = Vazão de escoamento superficial.

Qobsi = Vazão observada na estação fluviométrica.

Qbi = Fluxo de base ou vazão de base.

Conhecendo-se os valores de vazão de escoamento para cada instante i, o volume escoado é estimado através do cálculo da área do hidrograma superficial. Ao invés desta ser calculada por planimetria, como apontado por Villela e Mattos (1975, p.107), substitui-se a mesma pelo tempo total de escoamento - Δt. O volume escoado, então, é obtido por:

$$Ve = \sum Qsi \; X \; \Delta t \quad (36)$$

sendo:

Ve = Volume escoado.

Qsi = Vazão de escoamento superficial.

Δt = Intervalo de tempo adotado.

O coeficiente de *run off* - C é dado pela razão entre o volume escoado e o volume total precipitado sobre a bacia hidrográfica:

$$C = Ve/Vtot \quad (37)$$

Sendo:

Ve = Volume escoado.

Vtot = Volume total precipitado sobre a bacia hidrográfica.

A precipitação efetiva, isto é, a precipitação que escoa superficialmente, é o produto da precipitação total pelo coeficiente de *run off* e é dada por:

$$Pef = C \times Ptot \quad (38)$$

Visto que a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi possui grande área de drenagem, aproximadamente, 25000 Km^2, não se teve a pretensão de reduzir o hidrograma superficial para o hidrograma unitário, uma vez que a precipitação nesta bacia hidrográfica não é igualmente distribuída.

Acerca da precipitação média da bacia, esta foi calculada através do método de Thiessen, descrito em Tucci (2001, p.195) e em Villela e Mattos (1975, p.54), posto que este método se mostra mais prático em detrimento do método das isoietas. O método de Thiessen é dado por:

$$Pm = 1/A \sum A_i \ P_i \quad (39)$$

Sendo:

Pm: Precipitação média da bacia.

A_i: Área de influência do posto.

P_i: Precipitação registrada no posto i.

A: Área total da bacia.

4.6.2.1 Metodologia de análise dos hidrogramas.

O intuito em se construir hidrogramas foi identificar anomalias que indicassem influência do regime de operação da UHE Capivara nas inundações da cidade de Jataizinho. Nesse sentido, adotou-se a seguinte metodologia de análise dos hidrogramas:

a) Separação dos hidrogramas por períodos de cheia e vazante, tendo em vista que as variáveis que compõem o ciclo hidrológico são influenciadas pela variabilidade do regime pluviométrico ao longo do ano, isto é, pelo período chuvoso e período de estiagem;

b) Análise geral dos hidrogramas. Relacionamento entre os hidrogramas e informações climáticas qualitativas, a saber, períodos de fases positivas do fenômeno *El-Niño* Oscilação Sul;

c) Avaliação visual da forma dos hidrogramas tendo por objetivo identificar comportamentos anômalos da vazão;

d) Relacionamento entre os hidrogramas e informações qualitativas, ou seja, matérias de jornais e registros na Defesa Civil;

e) Para os hidrogramas que denotaram anomalia visual dos dados de vazão ou que foram destacados em matérias de jornais e registros da Defesa Civil, analisaram-se outros dados hidrométricos em conjunto: cotas altimétricas do Rio Tibagi referentes à estação fluviométrica de Jataizinho; cotas altimétricas do reservatório de Capivara e índices construídos nesta pesquisa com o intuito de avaliar o regime de operação da UHE Capivara, a saber, o Índice de Razão de Vazão – IRQ.

4.7 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓFICO DO SÍTIO URBANO DE JATAIZINHO E ESPACIALIZAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS.

Considerou-se relevante realizar um mapeamento geomorfológico do sítio urbano de Jataizinho, com o objetivo de identificar as formas predominantes de relevo que são inundadas.

O mapeamento morfológico foi realizado por meio de estereoscopia digital. O modelo estereoscópico foi construído com base em aerofotos da cidade de

Jataizinho da década de 1970, na escala de 1:25000, utilizando-se como ferramenta o software Prestitui.exe, elaborado por Hasegawa (2010).

Com essa finalidade, utilizaram-se aerofotos do Instituto Brasileiro do Café – IBC (1970), especificamente as aerofotos 10795, 10796 e 10797, referentes à faixa 98 A, quadrícula SF.22 –Z–C–I. Destaca-se que as aerofotos foram obtidas no Centro de Documentação e Pesquisa Histórica – CDPH, da Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Para se realizar os ajustes necessários no software Prestitui.exe, utilizou-se um conjunto de coordenadas geodésicas coletado através de técnicas *GNSS*. Além destes dados, outros foram utilizados para os devidos ajustes do modelo, tais quais: marcas fiduciais das aerofotos, escala das aerofotos, altitude média do terreno das aerofotos, altura de voo na tomada das aerofotos, abertura do diafragma da câmera e tipo de câmera utilizada para a obtenção das aerofotos.

Com relação à operacionalidade do *software,* este possui duas formas de visualizar a estereoscopia das aerofotos: a) modo binocular, o qual necessita de um par de espelhos estereoscópicos acoplado ao computador – assemelhando-se, portanto, à estereoscopia tradicional analógica – e b) modo anaglifo, o qual substitui os pares de espelhos estereoscópicos por óculos tridimensionais. O software também permite a visualização no modo monocular, sem espelhos estereoscópicos ou óculos 3D. Nesse modo, entretanto, o pesquisador não tem a visão estereoscópica, fato que pode não conferir bons resultados na fotointerpretação[5].

O software permite construir feições abertas e fechadas. As feições abertas dizem respeito a pontos e linhas. As feições fechadas se referem a polígonos. Assim, se a intenção é representar a altitude de um local, no relevo, usa-se a feição aberta. Caso o interesse seja representar formas do relevo – como planície fluvial, terraço, colina, entre outras – usa-se a feição fechada.

O software possibilita converter os arquivos salvos em bloco de texto para a extensão DXF, viabilizando a manipulação em softwares de geoprocessamento.

---

[5] O *software* também pode trabalhar com imagens orbitais, caso estas possuam estereoscopia, por exemplo, as imagens do satélite ALOS-PRISM.

Quanto à espacialização das áreas que são inundadas, no sítio urbano de Jataizinho, esta foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento, especificamente, interpolação dos dados de altitudes ortométricas obtidas por meio de estereoscopia digital, com base no modelo estereoscópico.

Assim, ao todo foram utilizados 610 pontos de elevação; enquanto a técnica de interpolação empregada foi a *topo to raster,* implementada no *software* ArcGIS. Ressalta-se que, devido a restrições técnicas, não houve possibilidade de realizar levantamento cinemático em campo, a fim de obter os pontos de elevação do terreno *in situ.*

Segundo Nogueira e Amaral (2009 *apud* CARMO; RODRIGUES; SANTOS, 2015, p.678), a técnica de interpolação *topo to raster* faz uso da eficiência computacional da interpolação local como ponderação do inverso da distância, sem, contudo, perder a continuidade superficial de métodos globais de interpolação, como krigagem e spline.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSISTÊNCIA DOS DADOS DE VAZÃO.

5.1.2 Rio Paranapanema.

Observando a (Tabela 5) verifica-se que dos dez trechos analisados referentes ao Rio Paranapanema, os quais estão compreendidos entre a cabeceira do rio e a UHE Capivara, localizada no médio curso, sete apresentam ICV geral da vazão média bom, dois apresentam razoável e um apresenta ruim.

Os trechos que apresentam ICV geral da vazão média razoáveis estão compreendidos entre as estações fluviométricas Campina do Monte Alegre - 64082000 (M) e Pirajú - 64220000 (J), e Piraju - 64220000 (M) e Porto Ermidão - 64275000 (J). O trecho que apresenta ICV geral da vazão média ruim está compreendido entre as estações fluviométricas Porto Ermidão (Irape) - 64273000-6E001 (M) e Ponte Melo Peixoto - 64280000 (J).

Tabela 5. Tabela síntese do Índice de Consistência de Vazão – ICV referente aos trechos analisados do Rio Tibagi.

Ano	Tabela Síntese do ICV (Vazão Média)									
	ICV anual - 64005000 (M) e 64082000 (J)	ICV anual - 64082000 (M) e 64220000 (J)	ICV anual - 64220000 (M) e 64275000 (J)	ICV anual - 64273000_6E001 (M) e 64280000 (J)	ICV anual - 64280000 (M) e 64335100 (J)	ICV anual - 64273000_6E001 (M) e 64335100 (J)	ICV anual - 64220000 (M) e 64335100 (J)	ICV anual - 64005000 (M) e 64392000 (J)	ICV anual - 64275000 (M) e 64392000 (J)	ICV anual - 64335100 (M) e 64515000 (J)
1937				58						
1938				0						
1939				17						
1940				0						
1941				17						
1942				17						
1943				8						
1944				0						
1945				8						
1946				25						
1947				50						
1948				33						
1949				33						
1950				58						
1951				17						
1952				67	0	0				0
1953				33	0	0				0
1954				58	0	0				0
1955				42	0	0				0
1956				83	0	0				0
1957				92	0	0				0
1958				17	8	0				0
1959				58	8	0				0
1960						0				0
1961						0				0
1962						0				0
1963						0				0
1964						17				0
1965						8				0
1966						0				0
1967						0				0
1968						17				0
1969	0	8	0			0	17			0
1970	0	25	0				0			0
1971	0	0	0				0			0

1972	0	17	8				8			0
1973	0	0	0				0			
1974	0	0	0				0			
1975	0	8	0				0			
1976	0	0	0				0			
1977	0	0	17				0			
1978	0	0	25				0	0	0	
1979	0	8	25				0	0	0	
1980								0	0	
1981								0	42	
1982								0		
1983								0		
1984								0		
1985								0		
1986								0		
1987								0		
1988								0		
1989								0		
1990								0		
1991								0		
1992								0		
1993								0		
1994								0		
1995								0		
1996								0		
1997								0		
ICV geral (%). Vazão média	0	45	36	87	25	17	18	0	25	0
ICV geral (%). Média das Máx. de Vazão		55	45	100						
ICV geral (%). Média das Mín. de Vazão		82	100	91						
ICV										
	Bom (entre 0 % e 30 % de inconsistência)									
	Razoável (entre 30,1% e 50% de inconsistência)									
	Ruim (entre 50,1% e 100%)									
X	Fora do período ou série									

Percebe-se que as inconsistências do trecho do rio que apresentam ICV ruim são bem altas: 87% para a vazão média, 100% para a média das máximas de vazão e 91% para a média das mínimas de vazão. Desse modo, verifica-se que os valores de inconsistências da média das máximas e da média das mínimas de vazão é inferior a 10%, sendo difícil, portanto, indicar em qual setor da curva-chave o erro poderia estar incidindo de forma mais acentuada, visto que nos dois setores as inconsistências são bem elevadas. Todavia, para o trecho que apresenta ICV geral razoável, observa-se que as inconsistências dos dados estão inseridas, principalmente, nos valores mínimos de vazão, logo, possivelmente neste setor da curva-chave. Ambas as situações coincidem com o que foi observado no Rio Tibagi.

Com relação ao ICV Histórico Mensal dos trechos que apresentaram ICV geral razoável e ruim, estes foram agrupados na (Tabela 6).

Tabela 6. ICV Histórico Mensal dos trechos do Rio Paranapanema que apresentaram ICV Geral razoáveis e ruins.

Trecho analisado	ICV Histórico Mensal (%)												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
64082000 (M) e 64220000 (J)	18	18	0	9	0	0	0	0	0	0	18	9	Vazão média
	18	9	0	0	0	0	0	9	0	9	27	9	Média das Máx.
	36	45	36	27	9	0	9	0	0	9	27	18	Média das Mín.
64220000 (M) e 64275000 (J)	0	0	18	9	9	9	9	9	9	0	0	9	Vazão média
	9	0	9	0	0	9	9	0	0	0	18	0	Média das Máx.
	27	27	36	45	27	64	45	18	36	36	27	64	Média das Mín.
64273000_6E001 (M) e 64280000 (J)	22	52	52	26	22	22	30	26	39	35	43	43	Vazão média
	48	78	57	39	52	52	35	35	39	39	48	52	Média das Máx.
	30	22	35	26	30	30	52	39	57	65	48	39	Média das Mín.
ICV													
	Bom (entre 0 % e 30 % de inconsistência)												
	Razoável (entre 30,1% e 50% de inconsistência)												
	Ruim (entre 50,1% e 100%)												

Analisando o trecho compreendido entre as estações fluviométricas Campina do Monte Alegre 64082000 (M) e Pirajú 64220000 (J), as inconsistências de vazão dizem respeito, principalmente, aos meses que pertencem ao período de cheia, quando se observa o ICV Histórico Mensal da vazão média. Comparando os valores do ICV Histórico Mensal da média das máximas de vazão e da média das mínimas de vazão, constata-se que aqueles são mais inconsistentes do que estes. Os resultados coadunam com aqueles apresentados na tabela síntese, visto que o ICV geral da média das máximas é superior ao ICV geral da média das mínimas. Desse modo, os resultados apontam que, para este trecho, os maiores erros que ocasionam as inconsistências estão relacionados às vazões máximas.

Acerca do trecho compreendido entre as estações fluviométricas Piraju 64220000 (M) e Porto Ermidão 64275000 (J), as ocorrências das inconsistências dizem respeito, principalmente, aos meses de vazante, quando se observa o ICV Histórico Mensal da vazão média. O mês com a maior inconsistência, entretanto, é março, final do período de cheia. Comparando os valores do ICV Histórico Mensal da média das máximas de vazão e da média das mínimas de vazão, verifica-se que as inconsistências mensais são mais sensíveis às vazões mínimas. Isto explica o fato do ICV geral da média das mínimas de vazão ser superior ao ICV geral da média das máximas. Dessa forma, os resultados apontam que, para este trecho, os maiores erros que ocasionam as inconsistências estão relacionados às vazões mínimas.

Com relação ao trecho compreendido entre as estações fluviométricas Porto Ermidão (Irape) 64273000-6E001 (M) e Ponte Melo Peixoto 64280000 (J), os resultados apontam que este é o pior trecho analisado do Rio Paranapanema, visto que todos os meses apresentam inconsistências quando se observa o ICV Histórico Mensal da vazão média. Verifica-se, ainda, que as inconsistências são mais altas no período de cheia, incluindo o mês de setembro, em que ocorre a retomada do período de águas altas. Assim, quando são comparados os valores do ICV Histórico Mensal da média das máximas de vazão e da média das mínimas de vazão, verifica-se que as inconsistências mensais são mais sensíveis às vazões máximas. Os resultados coadunam com aqueles apresentados na tabela síntese, visto que o ICV geral da média das máximas de vazão é superior ao ICV geral da média das mínimas. Para este trecho, portanto, os

resultados apontam que os maiores erros que ocasionam as inconsistências estão relacionados às vazões máximas.

Para o relacionamento hidrométrico entre o Rio Tibagi e a UHE Capivara, somente a estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000, a qual possui ICV geral bom, poderá ser aproveitada, uma vez que apenas esta estação fluviométrica encontrava-se próxima à atual UHE Capivara. Os dados, entretanto, dizem respeito ao período pré-barragem, especificamente entre 1949 e 1972. Após este período, a estação foi desativada devido à influência da construção da UHE Capivara no regime hidrológico da seção da estação fluviométrica.

Consultando o histórico da estação fluviométrica Balsa Paranapanema – 64515000 através do *software* Hidro 1.2, observaram-se algumas informações que confirmam tanto a proximidade entre esta estação fluviométrica e a UHE Capivara como a influência desta sobre aquela, no que se refere ao regime hidrológico:

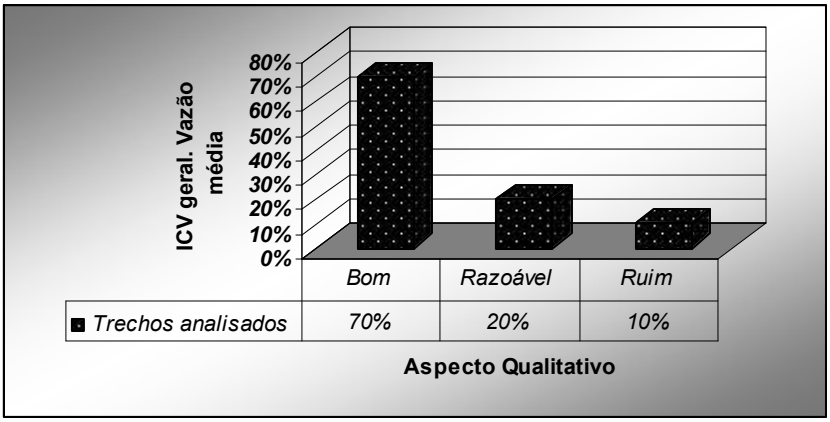
> 19/14/1949. Condições que podem influenciar as medições: Ensecadeira das obras de Capivari, 900 metros a jusante do posto, ocupando metade da calha do rio.1971/1972 Observações gerais: A aproximadamente 1 km da seção de medição, existem ensecadeiras das obras da futura Barragem de Capivari, ocupando cerca de metade da calha fluvial. A ensecadeira promove represamento e altera o regime natural do escoamento. Nestas condições a curva chave obtida não é representativa da estação em condições naturais de escoamento. O grau de precisão da curva chave ajustada graficamente foi ruim principalmente em cotas baixas. Há diversas medições apresentando grande dispersão, principalmente as de n.º 31 e 32. 31/03/1973. Observação: Foram efetuadas as medições de descarga até 23/07/72. Em 1971 as leituras de réguas e consequentemente as descargas perderam, a princípio, a sua validade motivada pelo represamento do referido rio. O posto foi extinto em 01/12/72 motivado pela mudança do regime do rio, pelas obras da Barragem Capivari e por não haver observadores nas imediações (ANA, 2005).

Nesse sentido, a vazão defluente da UHE Capivara poderá ser utilizada em conjunto com os dados de vazão da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000, a fim de se analisar a variabilidade da vazão, neste trecho do Rio Paranapanema, antes e após a construção da UHE Capivara.

Com relação às demais estações fluviométricas do Rio Paranapanema, estas poderão ser utilizadas apenas para analisar o regime hidrológico, uma vez que todas se encontram fora do Reservatório de Capivara e

distantes da UHE Capivara. A distribuição do ICV geral da vazão média referente aos trechos analisados do Rio Paranapanema pode ser observada na (Figura 25).

Figura 25. Distribuição do ICV geral da vazão média nos trechos analisados do Rio Paranapanema.



Organizado por SOUSA, R. V. B.

5.2 REGIMES HIDROLÓGICOS IDENTIFICADOS.

5.2.1 Regime hidrológico do Rio Paranapanema.

5.2.1.1 Características gerais do regime hidrológico do Rio Paranapanema.

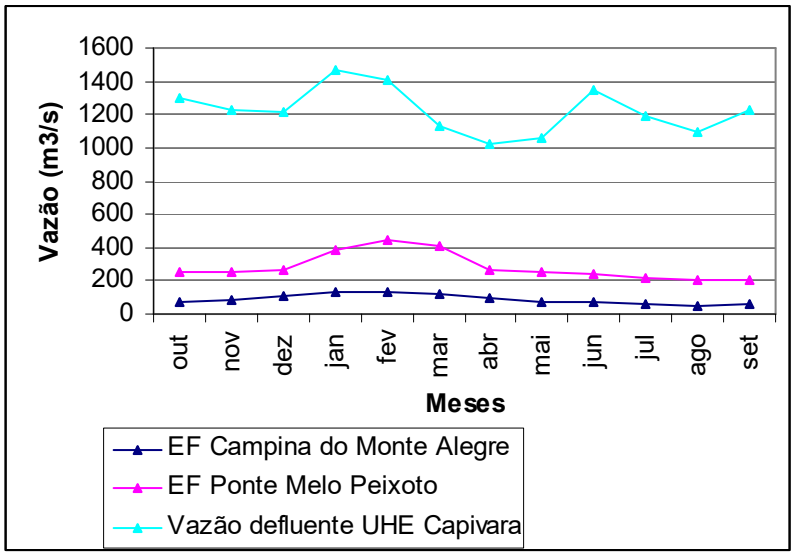
O Rio Paranapanema possui, ao todo, 11 UHEs em operação e uma PCH cuja construção foi revogada. Devido a isso, é possível falar em regime natural deste canal fluvial, aproximadamente, até 1956, uma vez que a primeira UHE do Rio Paranapanema, a UHE Paranapanema, localizada no município de Piraju, entrou em operação em 1957. Diante disso, pode-se afirmar que o Rio Paranapanema apresenta um regime hidrológico regularizado, isto é, controlado pela sucessão das 11 UHEs instaladas ao longo do canal fluvial.

A fim de se realizar uma caracterização geral do regime hidrológico do Rio Paranapanema, foram analisados dados de vazão das estações fluviométricas Campina do Monte Alegre – 64082000 e Ponte Melo Peixoto –

64280000, localizadas no alto curso do Rio Paranapanema, e dados de vazão defluente da UHE Capivara, localizada no médio curso do Rio Paranapanema.

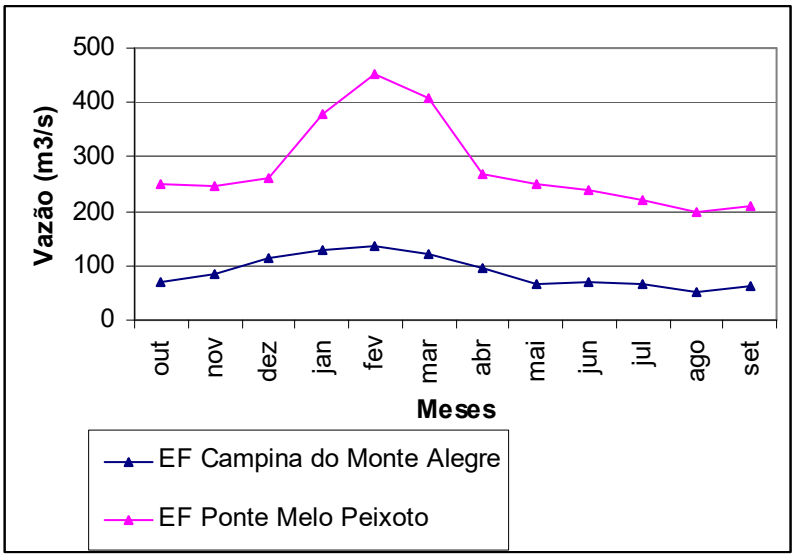
Ressalta-se que, a jusante da UHE Capivara, não foram identificadas estações fluviométricas com dados de vazão disponíveis. As estações fluviométricas existentes: a) possuem apenas dados de cota fluviométrica, b) não disponibilizam os dados no hidroweb, ou c) possuem dados referentes somente à qualidade da água. O regime hidrológico foi avaliado, portanto, apenas para o alto e médio curso do Rio Paranapanema. Na medida do possível, procurou-se preencher a lacuna referente ao baixo curso através de informações adquiridas na obra de Araújo (2011, p.110). O regime hidrológico do Rio Paranapanema pode ser observado na (Figura 26) e na (Figura 27).

Figura 26. Fluviograma elaborado com base em dados de estações fluviométricas do alto e médio curso do Rio Paranapanema.



Fonte: ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. EF: Estação fluviométrica. Série da EF: Campina do Monte Alegre 1969 a 1979. Série da EF Ponte Melo Peixoto: 1933 a 1959. Série da vazão defluente da UHE Capivara: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 27. Fluviograma detalhando os dados das estações fluviométricas do alto curso do Rio Paranapanema: Campina do Monte Alegre e Ponte Melo Peixoto.



Fonte: ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Série da EF Campina do Monte Alegre: 1969 a 1979. EF Ponte Melo Peixoto: 1933 a 1959. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Analisando o regime hidrológico, verificam-se dois períodos bem definidos: cheia e vazante. O primeiro compreendido entre setembro e março, sendo setembro o mês de retomada do período chuvoso; e o segundo compreendido entre abril e agosto. Com base em Pardê (1956 *apud* RADESCA, 1964, p.548) e Latrubesse *et al.* (2005), o regime hidrológico do Rio Paranapanema enquadra-se no regime tropical típico.

Observa-se que, no médio curso do Rio Paranapanema representado pelos dados da UHE Capivara, o pico de vazão ocorre no mês de janeiro com 1463 m^3/s. Por sua vez, nas estações do alto curso, o pico de vazão ocorre no mês de fevereiro. Assim, a estação fluviométrica Ponte Melo Peixoto denota 451 m^3/s; enquanto a estação fluviométrica Campina do Monte Alegre apresenta 136 m^3/s.

Analisando-se com mais cautela os dados de vazão defluente da UHE Capivara, nota-se a ocorrência de um pico de vazão no período de águas baixas, especificamente no mês de junho, com 1346 m^3/s. Pelo fato da UHE Capivara estar a jusante da foz Rio Tibagi, este pico de vazão no mês de junho decorre da associação de dois fatores: a) das chuvas de inverno mais abundantes no sul do

Brasil, as quais influenciam o regime hidrológico do Rio Tibagi, logo, do Rio Paranapanema e b) do regime de operação da UHE Capivara.

Os valores médios do regime hidrológico do Rio Paranapanema podem ser observados na (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios de vazão do Rio Paranapanema.

Estações Fluviométricas e UHEs	Vazão média (m3/s)
EF Campina do Monte Alegre	89
EF Ponte Melo Peixoto	282
Vazão defluente UHE Capivara	1222
UHE Barragem Rosana*	1190

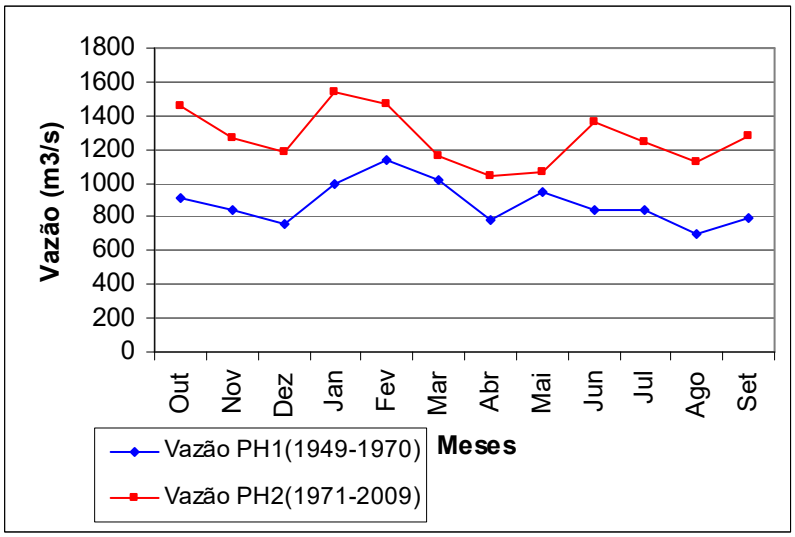
Fonte: Valores calculados com base nos dados de ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. (*) Valor adquirido em Araújo (2011, p.109). Organizado por SOUSA, R. V. B.

5.2.1.2 Regime hidrológico do Rio Paranapanema nos diferentes períodos hidrológicos identificados através do teste de Pettitt.

Dois períodos hidrológicos do Rio Paranapanema foram identificados por meio do teste de Pettitt para os dados de vazão, a saber: PH 1, entre 1949 e 1970, e PH 2, entre 1971 e 2009.

O primeiro período hidrológico corresponde ao período anterior à construção da UHE Capivara; enquanto o segundo equivale ao período de construção e operação desta. Destaca-se que, embora a UHE Capivara tenha entrado em operação em 1976, a construção desta se iniciou em 1971, o que resultou na alteração do regime de fluxo do rio já neste ano. O regime hidrológico do Rio Paranapanema nos dois diferentes períodos hidrológicos pode ser observado na (Figura 28).

Figura 28. Regime hidrológico do Rio Paranapanema nos diferentes períodos hidrológicos identificados por meio do teste de Pettitt.



Fonte: Valores calculados com base nos dados de vazão adquiridos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Dados de vazão referente à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000. Período: 1949 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

De modo geral, os resultados apontam para aumento da vazão em todos os meses a partir do segundo período hidrológico – PH 2. De maneira mais pontual, algumas observações podem ser destacadas: a) elevação da vazão em outubro, no PH2, para valores próximos ao do mês de janeiro do mesmo período hidrológico, b) o pico de vazão, no período de águas altas, passa de fevereiro para janeiro, no PH2, c) evidencia-se um novo pico de vazão em junho, no PH2, d) verifica-se uma atenuação do pico de vazão em maio, no PH2, e) no PH2, observa-se que a vazão entre junho e setembro, exceto agosto, é superior ao mês de março, comportamento que não ocorria no PH1.

Pode-se afirmar que essas alterações no regime hidrológico do Rio Paranapanema são decorrentes do regime de operação da UHE Capivara. Em certa medida, o comportamento do regime hidrológico no PH2 deixa de ser do tipo tropical passando a um regime complexo e variado de grandes rios, próximo ao regime hidrológico do Rio Tibagi.

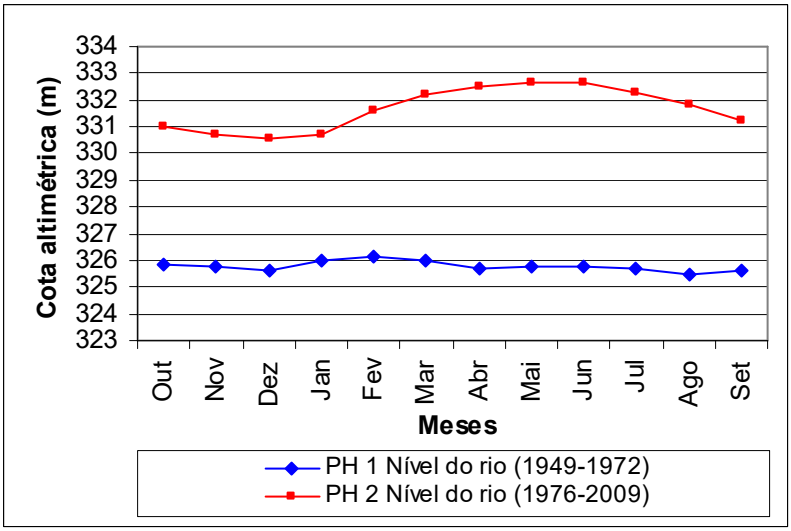
Vale destacar que o pico de vazão no mês de maio e o sensível aumento da vazão nos dois meses subsequentes em relação a março, observados no PH1, decorre do fato de a estação fluviométrica Balsa do Paranapanema –

64515000 ter a sua antiga localização, no Rio Paranapanema, nas adjacências da atual UHE Capivara, porém a jusante da foz do Rio Tibagi. Devido a isso, entende-se que este comportamento do regime hidrológico, entre maio e julho, é reflexo do regime hidrológico do Rio Tibagi, uma vez que as chuvas de outono e inverno, mais abundantes no sul do Brasil, influenciam o regime deste. Todavia, como já foi apontado, o regime de operação da UHE Capivara atenuou este processo.

Acerca dos dados de nível do rio, o teste de Pettitt identificou períodos hidrológicos diferentes daqueles referentes aos dados de vazão. Tendo ficado o PH1 compreendido entre 1949 e 1975; e o PH2, entre 1976 e 2009.

Comparando os dados de cota altimétrica, também é possível verificar a influência do regime de operação da UHE Capivara no regime de fluxo do Rio Paranapanema (Figura 29).

Figura 29. Regime de variação da cota altimétrica do Rio Paranapanema nos diferentes períodos hidrológicos identificados através do teste de Pettitt.



Fonte: Cotas altimétricas calculadas com base nos dados de cota fluviométrica adquiridos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Dados referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000. A partir de 1976, dados referentes ao nível montante da UHE Capivara. Período: 1949 a 2009. Cota zero da régua da UHE Capivara: 324 m. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Os resultados indicam pouca variabilidade da cota altimétrica do Rio Paranapanema no primeiro período hidrológico – PH 1, o qual corresponde aos dados da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000. Entretanto, no PH 2, nota-se que entre fevereiro e junho há um aumento do nível de água no reservatório; enquanto, a partir de julho, há um decréscimo deste, devido ao fato de se iniciar o período de vazante. Considerações mais detalhadas acerca do regime de operação da UHE Capivara serão feitas em breve.

A média histórica interanual de vazão e a de cota altimétrica em ambos períodos hidrológicos podem ser observadas na (Tabela 8) e na (Tabela 9). Os dados mostram que, no PH2, houve aumento médio de 385 m3/s na vazão e de 5.9 m na cota altimétrica.

Tabela 8. Médias históricas de vazão dos diferentes períodos hidrológicos.

Períodos hidrológicos	Vazão (m^3/s)
PH 1 (1949-1970)	881
PH 2 (1971-2009)	1266

Fonte: Valores calculados com base nos dados hidrológicos obtidos em ANA (2005) e na Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Dados referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema - 64515000. A partir de 1976, dados referentes à UHE Capivara. Período: 1949 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Tabela 9. Médias históricas de cota altimétrica dos diferentes períodos hidrológicos.

Períodos Hidrológicos	Cota altimétrica (m)
PH 1 1949-1972	325.783
PH 2 1976-2009	331.673

Fonte: Valores calculados com base nos dados hidrológicos obtidos em ANA (2005) e na Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Dados referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema - 64515000. A partir de 1976, dados referentes à UHE Capivara. Período: 1949 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

5.2.2 Regime de operação da UHE Capivara.

O regime de operação da UHE Capivara foi analisado com base nas médias mensais e anuais de vazão defluente (defluência), vazão afluente (afluência), vazão vertida, vazão turbinada, vazão natural, nível montante e volume útil. No entanto, os valores médios mensais foram calculados com base nos dados

diários brutos, obtidos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. A série dos dados está compreendida entre 1976 e 2009.

Antes de apresentar os resultados, é importante chamar a atenção para alguns termos técnicos da área, os quais podem gerar confusão na interpretação dos dados caso não sejam devidamente compreendidos.

O volume útil, o qual é dado em hm^3 ou porcentagem, pode ser entendido como a capacidade de armazenamento de um dado reservatório e pode calculado através da (Equação 40).

$$VUTIL = VMÁX – VMÍN \quad (40)$$

sendo:

VUTIL = Volume útil.

VMÁX = Volume máximo.

VMÍN = Volume mínimo.

O volume máximo, geralmente dado em hm^3, corresponde à quantidade total de água que pode ser armazenada no reservatório, incluindo o volume mínimo.

O volume mínimo corresponde à menor quantidade de água que deve estar armazenada em um reservatório, de modo que a usina hidrelétrica ainda tenha a sua capacidade de geração preservada.

Caso o volume de água no reservatório seja inferior ao volume mínimo, ele será denominado volume morto. Nessas condições, a usina hidrelétrica não será capaz de produzir energia, pois: a) não existirá queda mínima entre a cota altimétrica do nível do reservatório e as turbinas ou b) a cota altimétrica do nível do reservatório será inferior à cota altimétrica da tomada de água.

A vazão afluente – afluência – diz respeito à vazão medida a montante da barragem, antes da água ser turbinada ou passar pelos vertedouros da usina.

Por sua vez, o volume de vertimento corresponde às vazões defluente, turbinada e vertida, isto é, toda vazão que verte a jusante da usina hidrelétrica.

A vazão defluente deve ser entendida como a vazão total que flui para jusante da barragem, ou seja, corresponde à soma da vazão defluente, da vazão turbinada e da vazão vertida.

A vazão turbinada é compreendida como a vazão que, efetivamente, gera energia. Assim sendo, é formada pelas águas que passam pelas turbinas.

Quanto à vazão vertida, esta é caracterizada como a vazão que não gera energia, portanto se configura um excedente de água que passa pelos vertedouros da usina hidrelétrica.

Algumas situações que forçam a passagem da água pelos vertedouros são: a) quando inexiste capacidade de armazenamento da água no reservatório e a vazão afluente é superior ao turbinamento; em outros termos, não existe espaço no reservatório para armazenar o excedente de água; b) devido a restrições de operação ou manutenção da usina, sedo o turbinamento nulo ou muito baixo e c) quando é preciso garantir uma afluência alta em algum aproveitamento a jusante para a geração de energia.

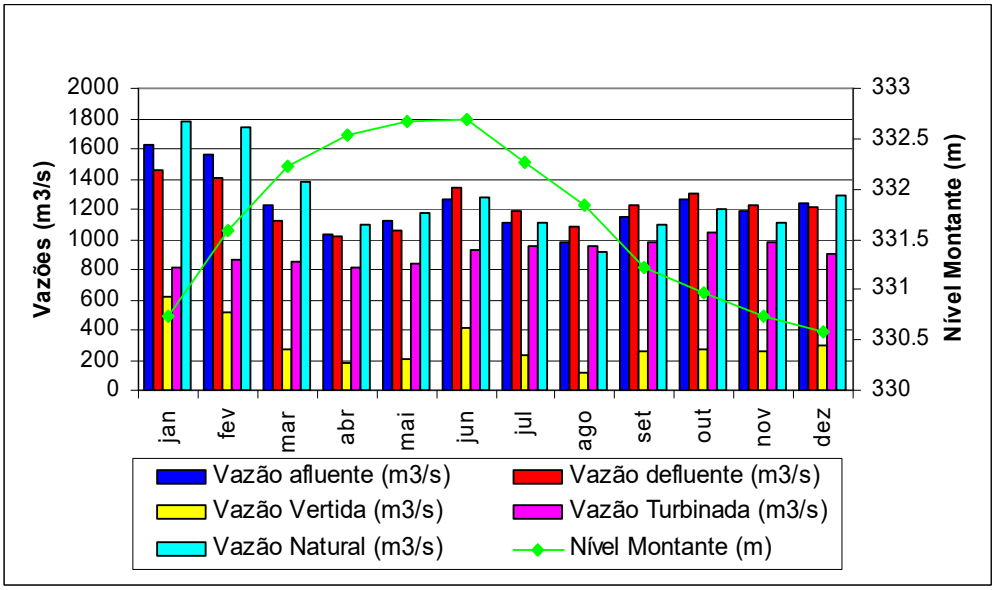
A cota altimétrica do rio imediatamente após a passagem de água pelas turbinas é denominada cota do canal de fuga. O cálculo da diferença entre a cota do canal de fuga e a cota altimétrica do nível do reservatório resulta no valor de queda de um aproveitamento hidráulico.

Com relação à vazão natural, a ONS (2016) aponta que esta deve ser entendida como a vazão que ocorreria em uma seção transversal do rio caso não existissem as intervenções antrópicas em sua bacia contribuinte, como regularização de vazões por barragens, desvio de água, evaporação de água em reservatórios, e os diversos usos consuntivos – irrigação, criação de animal, abastecimento urbano, rural e industrial. Dessa forma, a vazão natural é obtida por

um processo de reconstituição, o qual leva em consideração a vazão observada no local e as informações relativas às ações antrópicas na bacia hidrográfica.

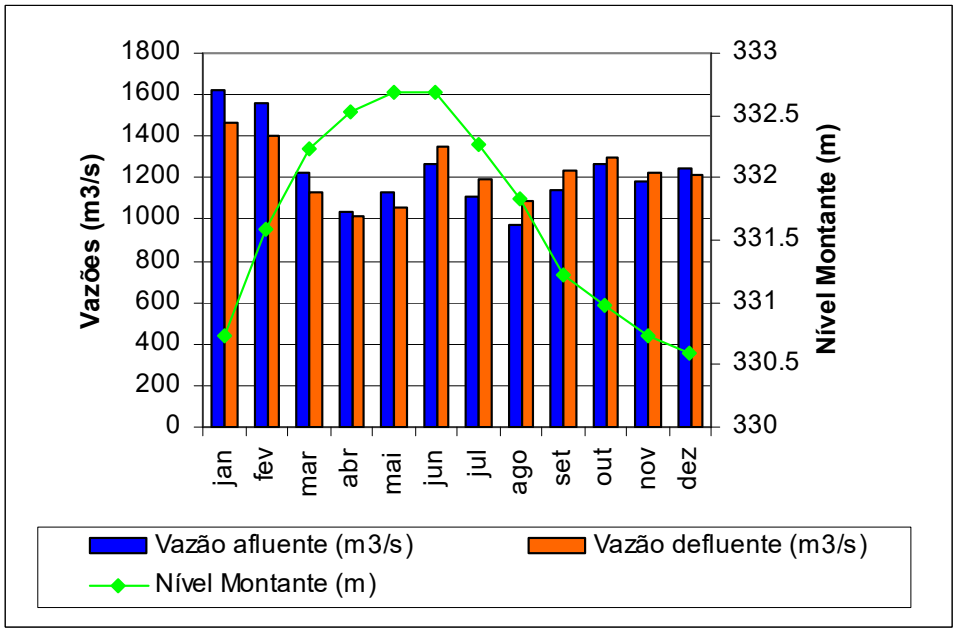
Feitas essas considerações, os gráficos do regime de operação da UHE Capivara, em escala mensal, podem ser observados na (Figura 30), na (Figura 31) e na (Figura 32).

Figura 30. Regime de operação mensal da UHE Capivara.



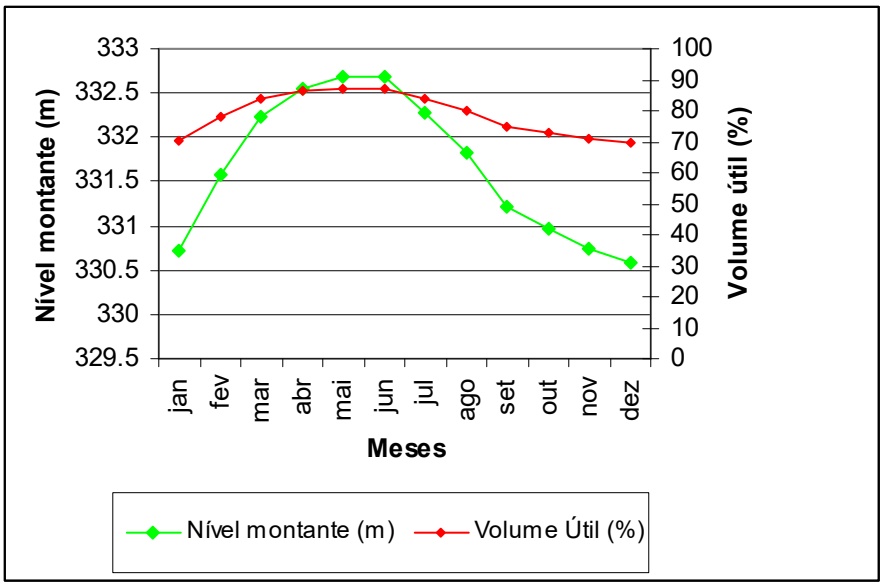
Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Período: 1977 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 31. Regime de operação mensal da UHE Capivara, focando os dados de vazão afluente, vazão defluente e nível montante.



Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Período: 1977 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 32. Regime de operação mensal da UHE Capivara, focando os dados de nível montante e volume útil.



Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Período: 1977 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Analisando-se os dados, verifica-se que a vazão afluente é maior em relação à vazão defluente, entre dezembro e maio, abrangendo todo o período

chuvoso, o período de cheia do rio, e início do outono, período em que a precipitação começa a diminuir.

Paralelamente, observa-se que o nível montante da barragem, isto é, o nível do reservatório, e também o volume útil deste aumentam paulatinamente de janeiro a junho, período em que a água passa a ser gradualmente armazenada no reservatório.

Entre junho e novembro, período menos chuvoso correspondente ao período de vazante do rio, o processo inverte-se em relação à vazão; assim, a vazão defluente supera a vazão afluente. Consequentemente, tanto o nível montante da barragem como o volume útil do reservatório decrescem gradualmente.

Pode-se dizer, então, que a fase alta da vazão afluente / fase baixa da vazão defluente corresponde à fase de aumento do nível do reservatório e do volume útil deste; enquanto a fase baixa da vazão afluente / fase alta da vazão defluente corresponde à fase de diminuição do nível do reservatório e do volume útil deste.

A vazão vertida é maior, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro e junho. Assim, o aumento da vazão vertida em janeiro e fevereiro está relacionado ao aumento das chuvas durante o verão; ao passo que, no mês de junho, provavelmente está relacionado às chuvas de inverno decorrentes de frentes estacionárias. É importante frisar que a vazão do Rio Tibagi, a qual contribui para a formação do reservatório de Capivara, responde bem aos reflexos destas chuvas de inverno, como apresentado nas considerações acerca do regime hidrológico deste canal fluvial.

A respeito da vazão natural, esta é superior às vazões afluente e defluente entre dezembro e maio. Em junho e julho, a vazão natural torna-se inferior à vazão defluente, porém ainda se apresenta ligeiramente superior à vazão afluente. A partir de agosto até novembro, a vazão natural passa a ser inferior às vazões afluente e defluente. Essas mudanças são reflexos da regularização da vazão do rio pela barragem.

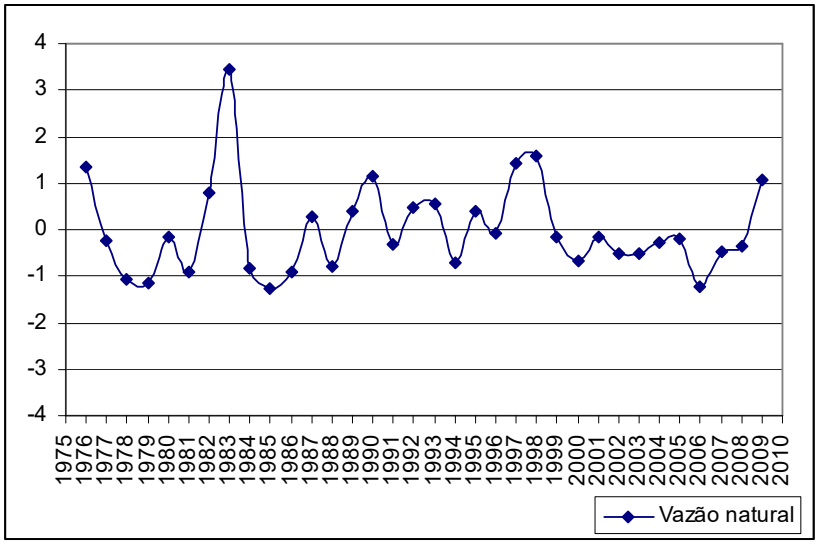
A vazão turbinada se mostra mais constante em detrimento das demais vazões e demais variáveis. Dois períodos são bem definidos quando se observam os dados de vazão turbinada, a saber: um entre dezembro e maio, e outro

entre junho e novembro, o último com valores maiores, na medida em que abrange as estações de inverno e primavera.

As informações apresentadas até o momento mostram que a UHE Capivara regulariza a vazão no trecho dos corpos hídricos que correspondem ao Reservatório de Capivara e imediatamente a jusante da barragem. Em linhas gerais, a água é armazenada no reservatório durante o período chuvoso – período de cheia – para que exista volume de água suficiente durante o período de estiagem – período de vazante –, e, dessa forma, suprir as necessidades de produção energética. O regime das chuvas, associado a este processo de regularização da vazão, condiciona a variabilidade, principalmente, das vazões afluente e defluente, das vazões turbinada e vertida com algumas ressalvas, e do nível altimétrico e volume útil do reservatório.

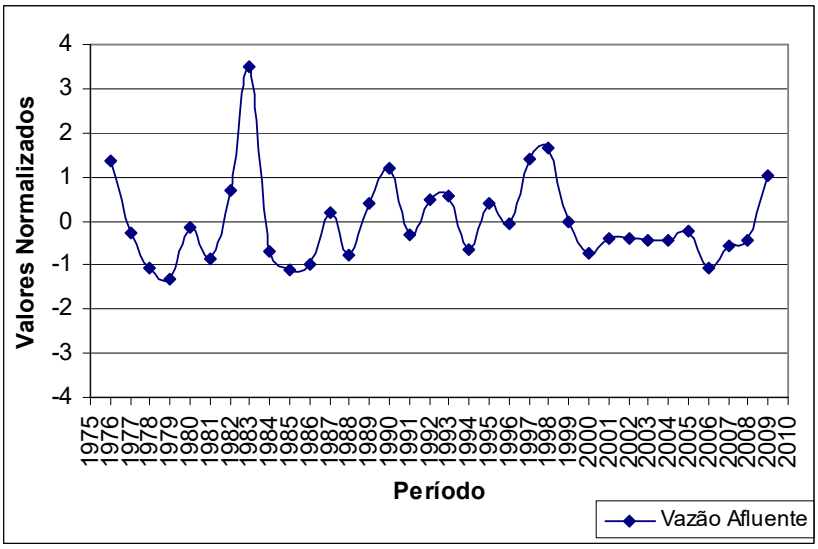
Os dados também foram normalizados em relação ao desvio padrão, a fim de se observar a variabilidade interanual destes. Os dados de vazão natural, vazão afluente, vazão defluente e vazão vertida podem ser observados na (Figura 33), na (Figura 34), na (Figura 35) e na (Figura 36).

Figura 33. Dados de vazão natural, normalizados em relação ao desvio padrão.



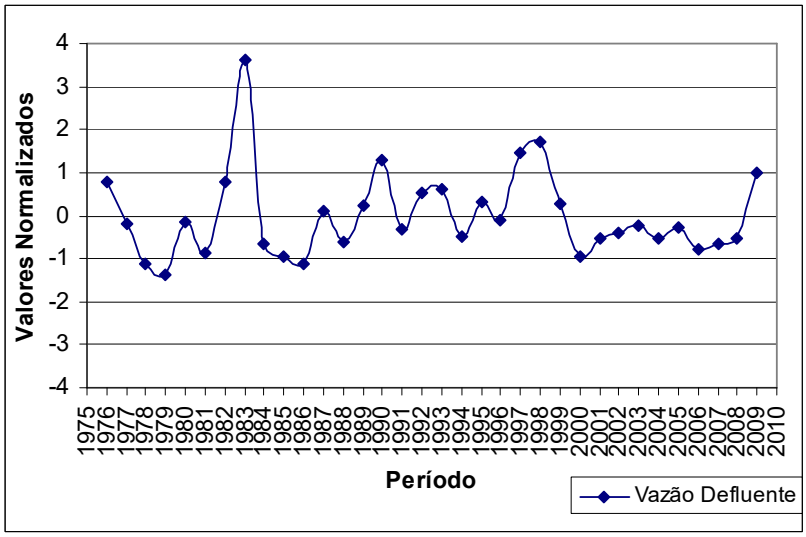
Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 1264 m^3/s. SD: 412 m^3/s. CV: 33%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 34. Dados de vazão afluente, normalizados em relação ao desvio padrão.



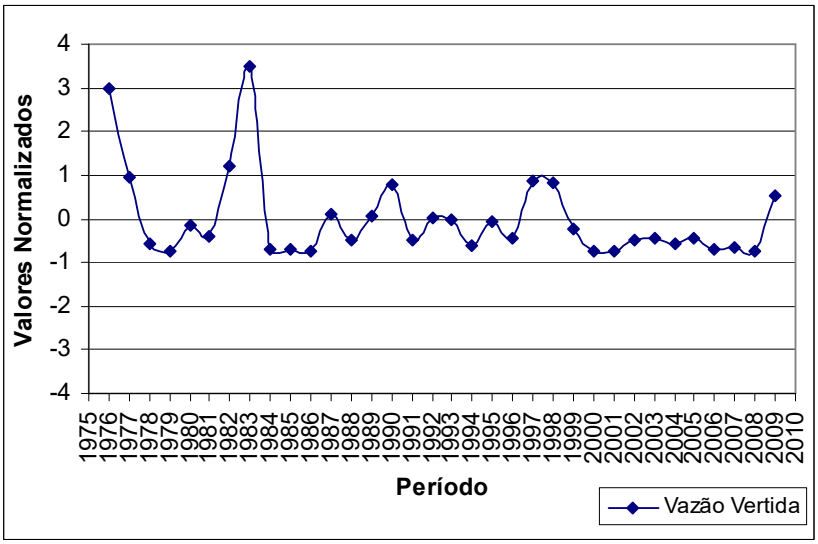
Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 1230 m^3/s. SD: 411 m^3/s. CV: 33%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 35. Dados de vazão defluente, normalizados em relação ao desvio padrão.



Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 1222 m^3/s. SD: 398 m^3/s. CV: 33%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 36. Dados de vazão vertida, normalizados em relação ao desvio padrão.



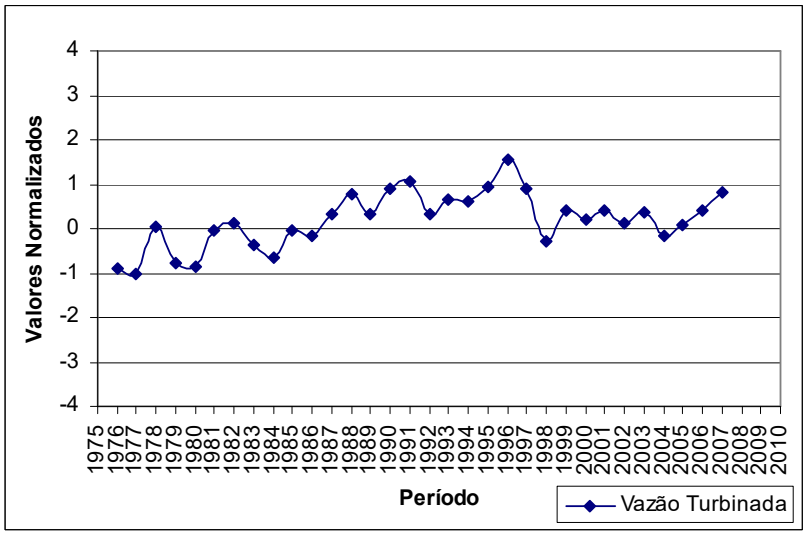
Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 303 m^3/s. SD: 414 m^3/s. CV: 137%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Os gráficos referentes à vazão natural, à vazão afluente, à vazão defluente e à vazão vertida mostram que estas possuem variabilidades similares, com a maioria dos valores próximos à normalidade e com a ocorrência de anos atípicos, principalmente positivos, acima de 1 SD.

Os valores de desvio padrão e coeficientes dos três primeiros tipos de vazão mostram-se próximos, reforçando o fato de as variabilidades destes serem similares. Entretanto os valores destes índices de variabilidade a respeito da vazão vertida demonstram que esta possui variabilidade em torno da média, muito superior às vazões afluente, defluente e vertida; pois tanto o SD como o CV são superiores à média. Isso é explicado pelo fato de a vazão vertida não ser constante, com muitos meses apresentando valores nulos, o que faz com que o SD e CV sejam altos.

A respeito dos dados de vazão turbinada, estes podem ser observados na (Figura 37).

Figura 37. Dados de vazão turbinada, normalizados em relação ao desvio padrão.

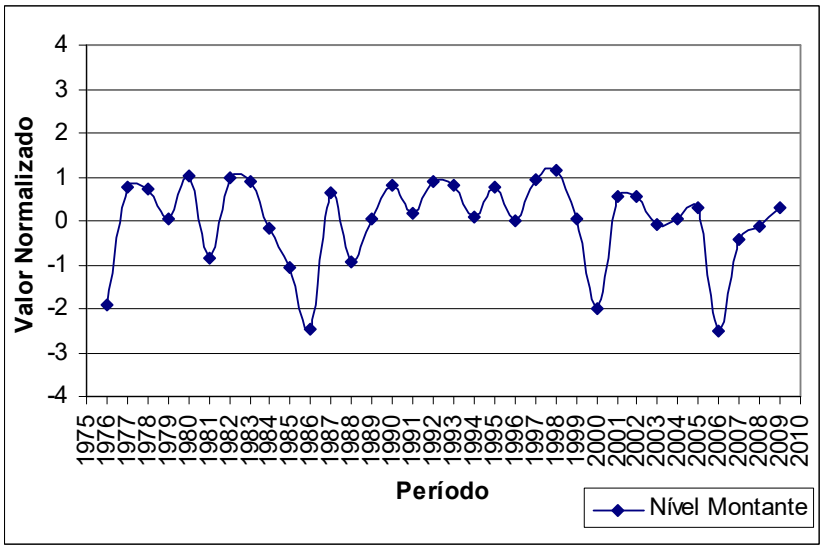


Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 920 m^3/s. SD: 231 m^3/s. CV: 25%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

A vazão turbinada apresenta nítida tendência de aumento entre 1984 e 1996. Essa tendência de aumento, além de possuir influência climática, possivelmente está relacionada a melhorias dos tipos de turbinas, entre outras características exigidas pelo aumento de demanda de energia elétrica.

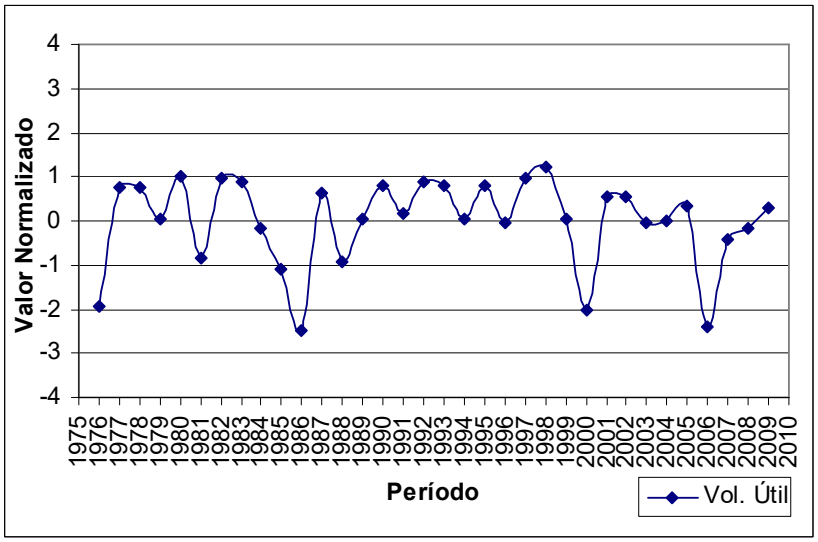
Os dados de nível montante e volume útil podem ser observados na (Figura 38) e na (Figura 39).

Figura 38. Dados de nível montante, normalizados em relação ao desvio padrão.



Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 332 m. SD: 1 m. CV: 0%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 39. Dados de volume útil, normalizados em relação ao desvio padrão.



Fonte: Dados originais adquiridos junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Média: 79%. SD: 11% m. CV: 14%. Período: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

As séries de nível montante do reservatório e volume útil são as que se apresentam mais próximas da normalidade. Essa constatação demonstra que estas variáveis são as mais regularizadas quando comparadas com as demais. Isso

porque existe um volume máximo de água que o reservatório pode armazenar e um volume mínimo de água que este deve conter, logo, um nível máximo e mínimo que o reservatório deve possuir. Sob essas condições, as variabilidades da vazão afluente e da vazão defluente tenderão a ser maior, pois uma oscilação de poucos centímetros no nível do reservatório representa um ganho ou perda considerável em ambas vazões, se for levado em consideração que o SD do nível do reservatório é somente de 1 m e o CV de 0%. Os valores destes índices de variabilidade para os dados de volume útil também são baixos, a saber: SD igual a 11% e CV 14%.

De modo geral, pode-se dizer que as vazões atípicas, tanto positivas como negativas, do volume útil e do nível montante do reservatório apresentam relação com o padrão de variabilidade climática interanual *ENOS* e com seus respectivos valores de IOS.

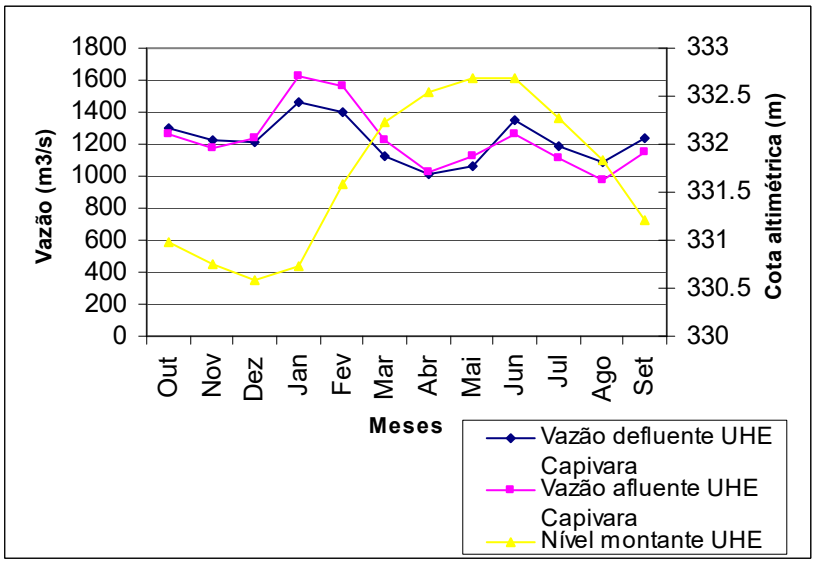
Os valores médios de vazão e de cota altimétrica da UHE Capivara podem ser observados na (Tabela 10); enquanto o regime hidrológico ou regime de operação da UHE Capivara pode ser observado na (Figura 40).

Tabela 10. Médias históricas de vazão, cota fluviométrica e cota altimétrica da UHE Capivara.

Médias Históricas			
Vazão afluente (m3/s)	Vazão defluente (m3/s)	Cota fluviométrica (cm)*	Cota altimétrica (m)*
1230	1222	767.270	331.673

(*) Valores referentes ao nível montante da barragem, sendo a cota zero da régua 324 m.
Fonte: Resultados calculados com base nos dados da Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Série: 1976 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 40. Regime de operação da UHE Capivara, com base nas médias históricas mensais de vazão e cota altimétrica.



Fonte: Resultados calculados com base nos dados da Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA. Cota zero da régua: 324 m. Organizado por SOUSA, R. V. B.

5.2.3 Regime Hidrológico do Rio Tibagi.

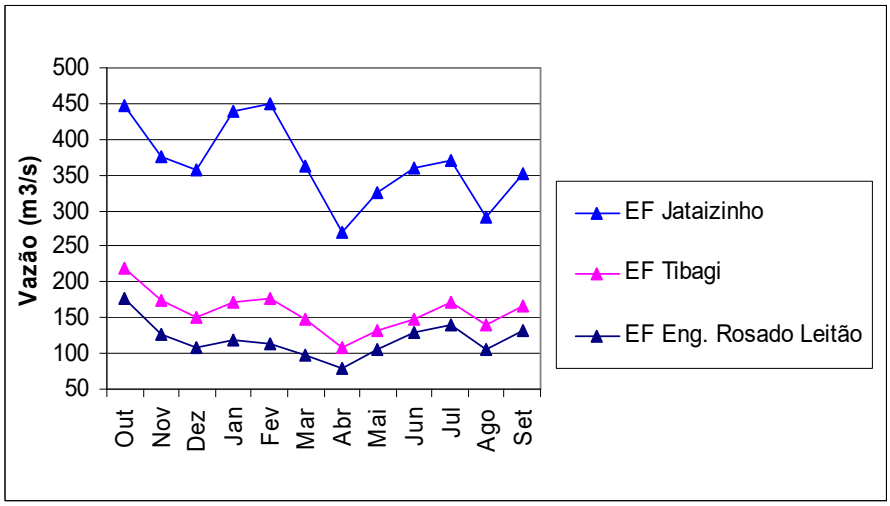
5.2.3.1 Características gerais do regime hidrológico do Rio Tibagi.

Pelo fato de a estação fluviométrica Jataizinho 64507000 ser a estação mais representativa da Bacia Hidrográfica do Tibagi, tanto em tamanho de área de drenagem, com 21955 Km^2, como em série temporal dos dados, escolheu-se esta para uma análise mais detalhada do regime hidrológico. Todavia, para fim de comparação, o regime hidrológico também foi realizado para estações fluviométricas localizadas no alto curso do canal fluvial, a saber: Tibagi 64465000 e Engenheiro Rosado Leitão 64447000.

Analisando o regime hidrológico, verifica-se que os picos de vazão não se limitam ao verão, nitidamente oposto ao regime tropical típico, comumente encontrado nos rios brasileiros e preponderante na maior parte da Bacia Hidrográfica do Paraná. Difere-se, também, dos regimes subtropicais, uma vez que apresenta três picos de vazão durante o ano: outubro, fevereiro e julho. Assim, com base em Pardê (1956 *apud* RADESCA, 1964, p.548) e Latrubesse *et al.* (2005), o

regime hidrológico do Rio Tibagi enquadra-se nos regimes complexos e variáveis dos grandes rios (Figura 41).

Figura 41. Fluviograma elaborado com base dados de estações fluviométricas do alto e baixo curso do Rio Tibagi.



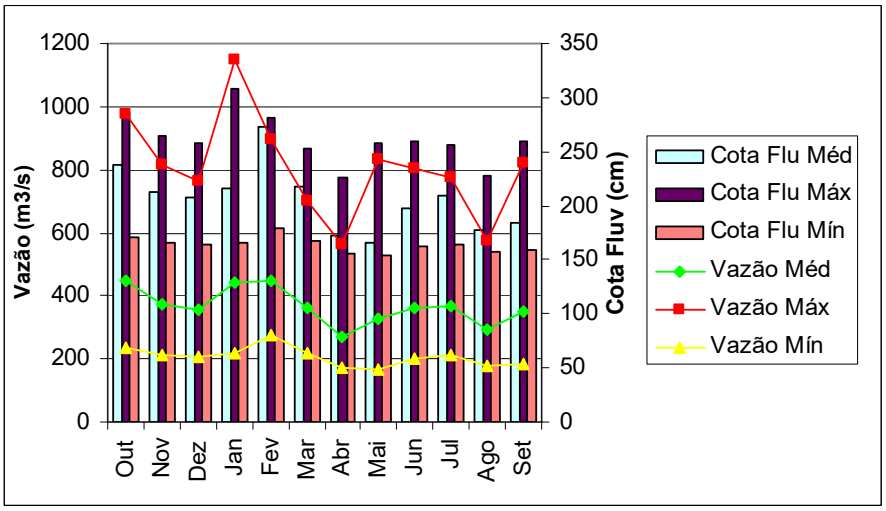
Fonte: Dados hidrológicos obtidos em ANA (2005) e Instituto de Águas do Paraná. EF: Estação Fluviométrica. Séries temporais: EF Jataizinho: 1932 a 2009, EF Tibagi: 1932 a 2009, EF Eng. Rosado Leitão: 1976 a 2009. Fonte: SOUSA (2014).

Conforme Sousa (2012, 2014), as chuvas de outono e inverno, mais abundantes no médio e alto curso do canal fluvial – porção sul da Bacia Hidrográfica do Tibagi –, influenciam diretamente o regime hidrológico do Rio Tibagi, inclusive em seu baixo curso, mais seco, denotando visível aumento da vazão média entre abril e julho, com um pico de vazão neste último mês. Considerações sobre a dinâmica climática da região meridional brasileira podem ser averiguadas na obra de Monteiro (1968, p.142).

Atendo-se aos valores médios dos picos de vazão da estação fluviométrica de Jataizinho, as vazões alcançam 447 m^3/s no mês de outubro, 450 m^3/s no mês de fevereiro e 369 m^3/s no mês de julho. Destaca-se que, o mês de setembro, embora seja o mês de retomada das chuvas, apresenta débitos não superiores ao mês de julho em todas as estações fluviométricas. Nesse sentido, setembro deve ser entendido como um mês de transição do período de vazante para o período de cheia.

Embora a estação fluviométrica de Jataizinho apresente os débitos médios mais elevados em fevereiro e outubro, é, porém, no mês de janeiro que se registram os picos máximos de vazão e cota fluviométrica. Em termos numéricos, a média das máximas em janeiro é de 1151 m^3/s e de cota fluviométrica de 310 cm (Figura 42).

Figura 42. Regime hidrológico detalhado da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.



Fonte: ANA (2005) e Instituto de Águas do Paraná. Série: 1932 a 2009.

Quanto às vazões médias mais baixas, observam-se dois episódios representativos no período de vazante: um no outono, no mês de abril, sendo este o mês em que os débitos são menores, e outro no final do inverno, em agosto. Na estação de Jataizinho, o mês de abril registra 271 m^3/s. Em agosto, a vazão aumenta de forma sensível, chegando a 291 m^3/s.

Embora o mês de abril apresente as médias de vazão e de cota fluviométrica mais baixas, a média das mínimas atesta pequeno decréscimo em maio. No cômputo geral, a média das mínimas de cota fluviométrica e de vazão apresenta certa regularidade durante o ano, sendo fevereiro o mês com as mínimas mais elevadas devido ao grande volume de chuva em janeiro e ao longo de fevereiro. As médias históricas são apresentadas na (Tabela 11).

Tabela 11. Médias históricas de vazão e cota fluviométrica da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

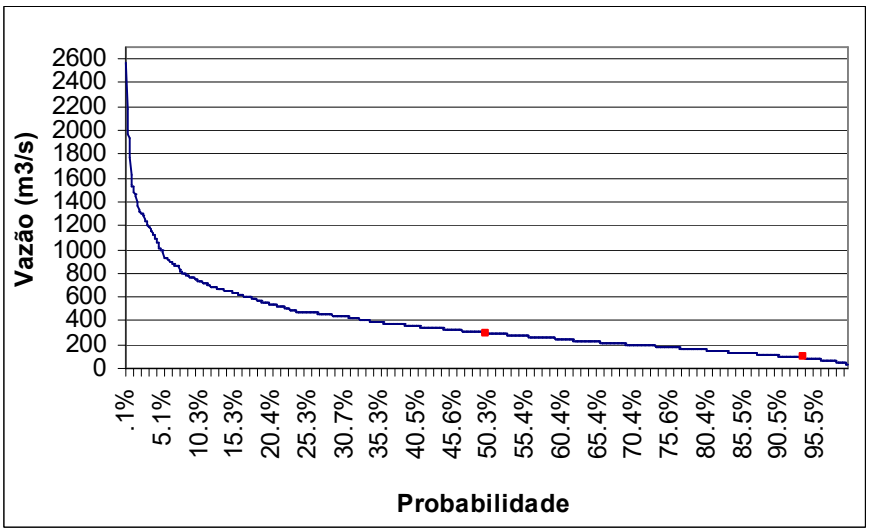
Médias Históricas					
Vazão (m3/s)			Cota Fluviométrica (cm)		
Média	Média das máximas	Média das mínimas	Média	Média das máximas	Média das mínimas
367	805	206	206	262	164

Fonte: Valores calculados com base nos dados da ANA (2005) e Instituto de Águas do Paraná. Série: 1932 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Adicionalmente, a caracterização geral do regime hidrológico do Rio Tibagi foi realizada com base na análise da curva de permanência das vazões e cotas fluviométricas médias compreendidas entre o período de 1932 a 2009.

Assim, acerca da curva de permanência dos dados de vazão média, a probabilidade de ocorrência de vazão igual ou superior a 50% do tempo, isto é, a Q_{50}, corresponde a 298 m^3/s. Evidencia-se que o valor da Q_{50} equivale à mediana da vazão interanual. Por sua vez, a vazão de 90 m^3/s corresponde à Q_{95} (Figura 43).

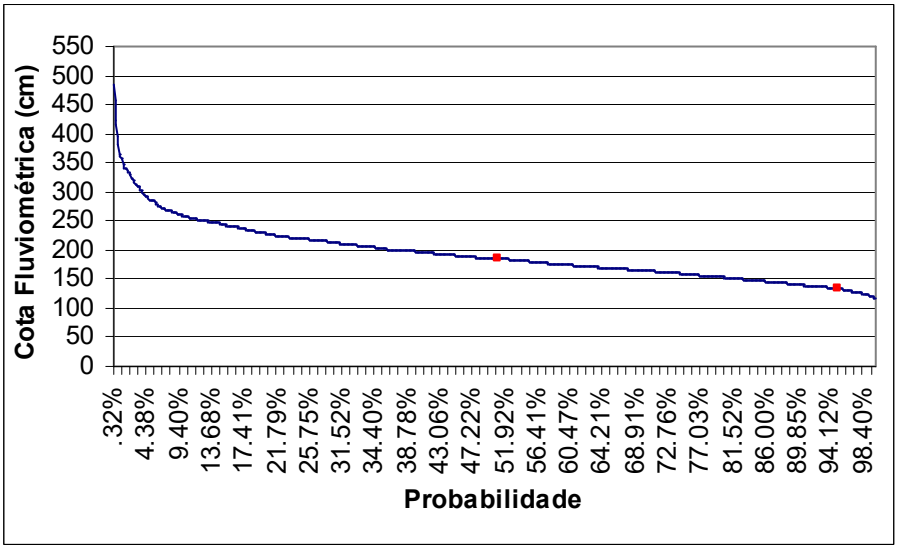
Figura 43. Curva de permanência dos dados de vazão média da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.



Fonte: Elaborado com base nos dados do *hidroweb/ANA*. Período: 1932 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Com relação à curva de permanência dos dados de cota fluviométrica, verifica-se, em 50% do tempo, a ocorrência do valor de 185 cm; enquanto em 95% do tempo observa-se o valor de 286 cm. Com base no valor de cota zero da régua linimétrica, isto é, 326,58 m, os valores de 50% e 95% do tempo correspondem, respectivamente, a 328.43 m e 329,44 m (Figura 44).

Figura 44. Curva de permanência dos dados de vazão média da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

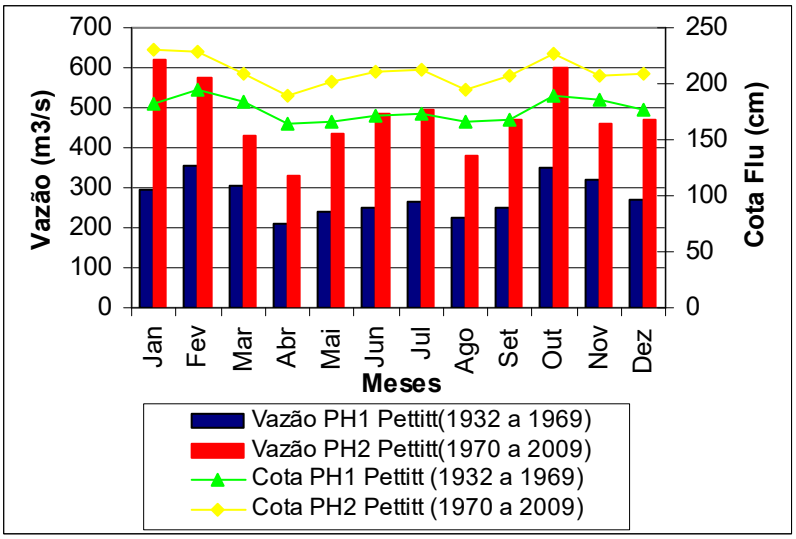


Fonte: Elaborado com base nos dados do *hidroweb/ANA*.
Período: 1932 a 2009. Organizado por SOUSA, R.V.B.

5.2.3.2 Regime hidrológico do Rio Tibagi nos diferentes períodos hidrológicos identificados através do teste de Pettitt.

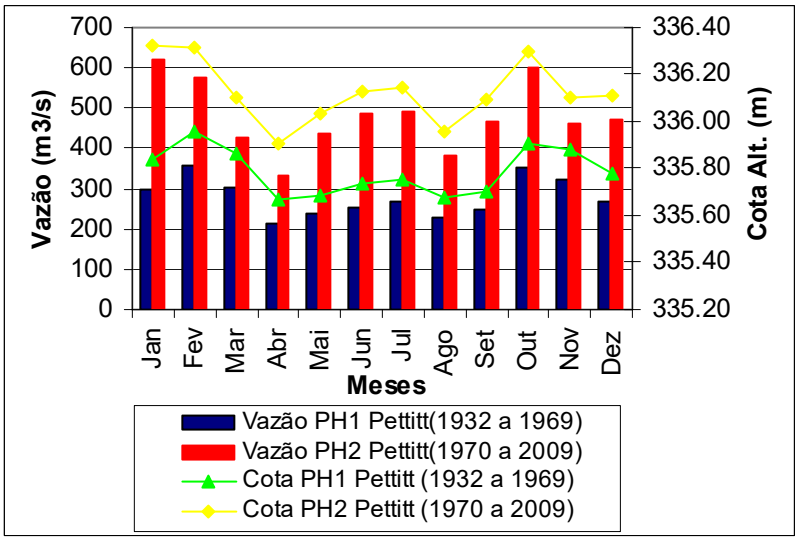
Tendo em vista que o cerne da pesquisa diz respeito à ocorrência de inundações na cidade de Jataizinho e sua relação com o regime de operação da UHE Capivara, a análise do regime hidrológico individualizada para cada período hidrológico restringiu-se para a estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Vale reforçar que, através do teste de Pettitt, os períodos hidrológicos identificados foram: PH 1, entre 1932 e 1969, e PH 2, entre 1970 e 2009. O regime hidrológico do Rio Tibagi nos diferentes períodos hidrológicos pode ser observado na (Figura 45) e na (Figura 46).

Figura 45. Regime hidrológico do Rio Tibagi, nos diferentes períodos hidrológicos, identificados por meio do teste de Pettitt. Fluviograma referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.



Fonte: Valores calculados com base nos dados da ANA (2005) e Instituto de Águas do Paraná. Período: 1932 a 2009. Dados referentes à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Cota zero *GNSS:* 326.58 m. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 46. Regime hidrológico do Rio Tibagi, nos diferentes períodos hidrológicos, identificados por meio do teste de Pettitt. Fluviograma referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.



Fonte: Valores calculados com base nos dados da ANA (2005) e Instituto de Águas do Paraná. Período: 1932 a 2009. Dados referentes à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Cota zero *GNSS:* 326.58 m. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Os resultados apontam para aumentos expressivos da vazão e da cota altimétrica em todos os meses, a partir do segundo período hidrológico – PH 2. Verifica-se que o pico de vazão, no período de águas altas, passa de fevereiro, no PH 1, para janeiro, no PH 2, dobrando o valor médio. Este comportamento também foi observado no regime hidrológico do Rio Paranapanema, como já apontado anteriormente, bem como no regime hidrológico do Rio Tibagi, referente à estação fluviométrica Tibagi – 64465000.

5.3 PERÍODOS HIDROLÓGICOS IDENTIFICADOS.

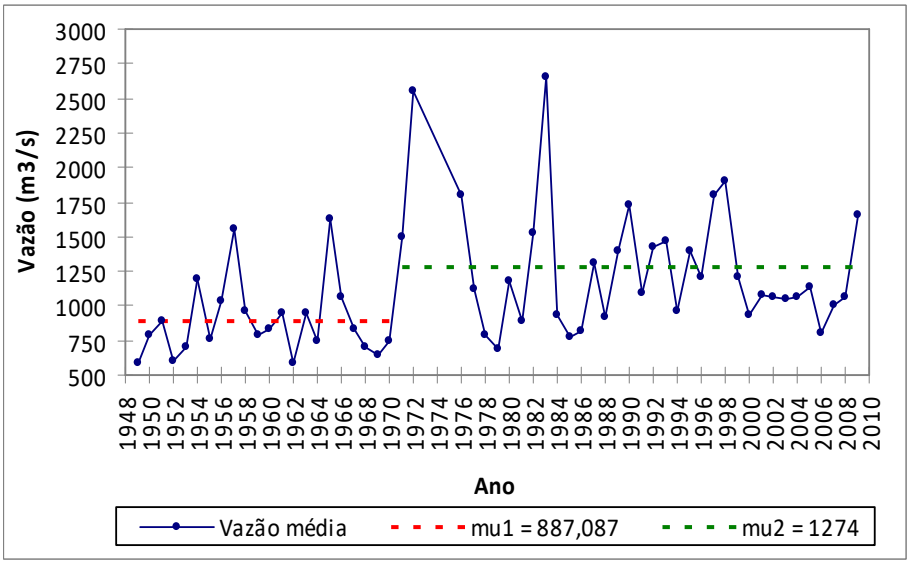
5.3.1 Períodos Hidrológicos do Sistema Rio Paranapanema – UHE Capivara.

Conforme informações contidas no histórico da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 obtidas no hidroweb, esta estação passou a apresentar inconsistência nos dados hidrológicos do ano de 1971 devido ao início da construção da atual UHE Capivara, na medida em que aquela se encontrava muito próxima desta. A estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 foi desativada, portanto, em 1972, ainda na fase de construção da barragem. Conforme os dados cartográficos da estação fluviométrica, esta se encontrava muito próxima ao eixo da barragem.

À vista disso, analisou-se o período hidrológico apenas neste trecho do Rio Paranapanema, com o intuito de se observar as alterações que ocorreram no regime hidrológico decorrentes da construção da UHE Capivara. Com base nos dados de localização geográfica, parte-se do pressuposto de que tanto a antiga estação fluviométrica como a atual barragem possuem a mesma localização espacial.

Os períodos hidrológicos foram analisados por meio do teste de Pettitt, tanto para os dados de vazão como para os dados de cota fluviométrica. Com relação aos dados de vazão, os resultados apontam rupturas nas séries, especificamente em dois períodos hidrológicos distintos, a saber, PH1, compreendido entre 1949 e 1970, e PH2, compreendido entre 1971 e 2009 (Figura 47).

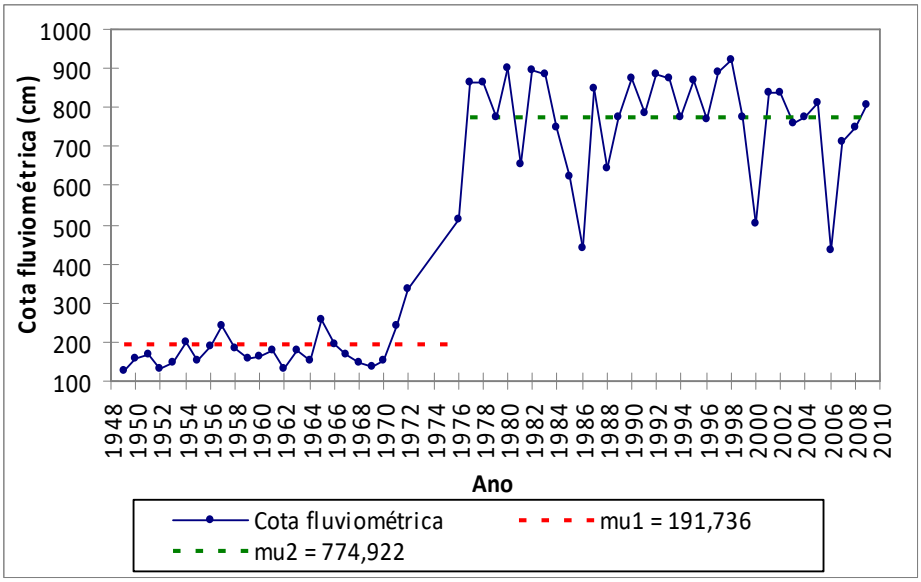
Figura 47. Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e à vazão afluente da UHE Capivara.



Fonte: Dados de vazão obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Organizado por SOUSA, R. V. B.

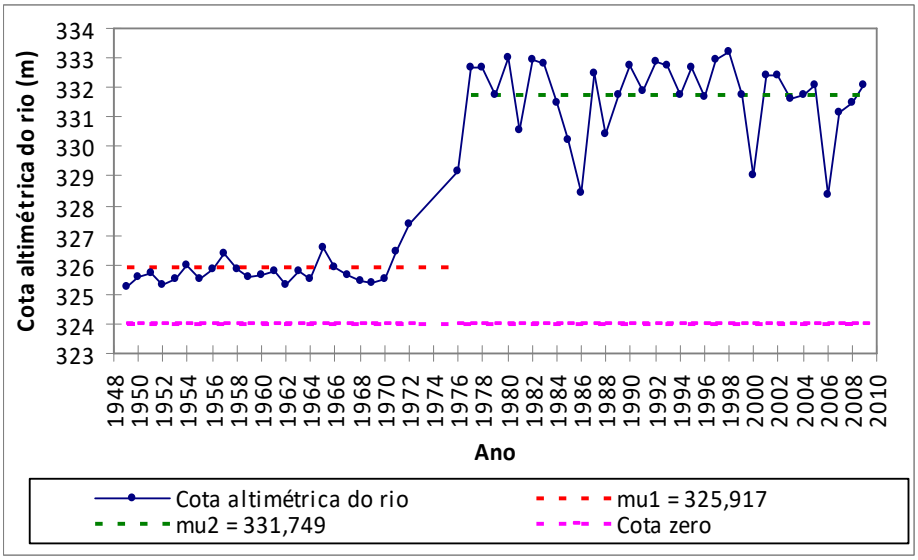
Todavia, acerca dos dados de cota fluviométrica e cota altimétrica do rio, as rupturas mudam, estando PH1 compreendido entre 1949 e 1972 e PH2 entre 1976 e 2009 – (Figura 48) e (Figura 49).

Figura 48. Teste de Pettitt aplicado às cotas fluviométricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e UHE Capivara.



Fonte: Dados de cota fluviométrica obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 49. Teste de Pettitt aplicado às cotas altimétricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e UHE Capivara.



Fonte: Dados de cota fluviométrica obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Organizado por SOUSA, R. V. B.

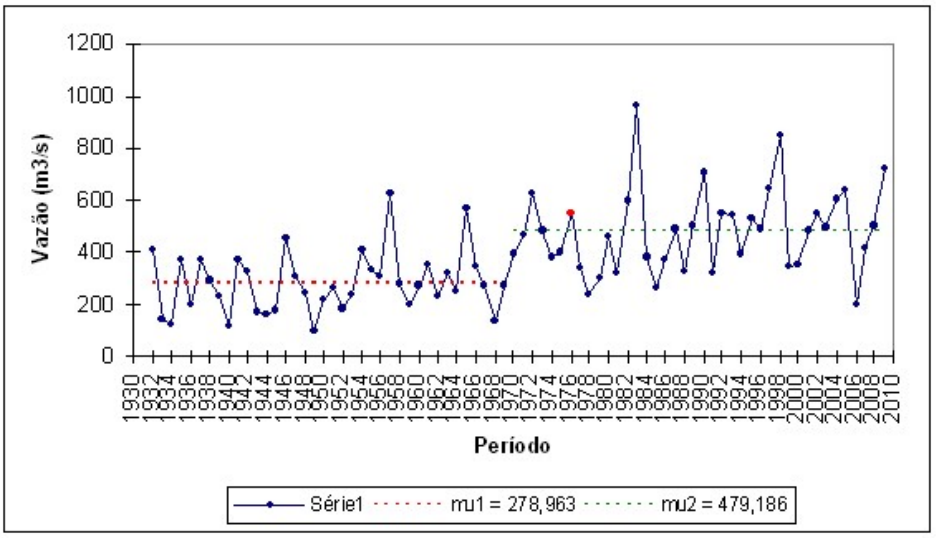
A diferença nas rupturas das séries temporais entre os dados de vazão e níveis de rio pode ser explicada por dois motivos: a) a variabilidade dos dados de vazão é maior em detrimento aos dados de cota fluviométrica e de cota altimétrica e b) o ano de 1976 corresponde ao ano de início de operação da UHE Capivara, portanto, ao ano em que de fato o reservatório passou a operar com base nos volumes mínimo, útil e máximo, aspecto que reflete diretamente no nível do reservatório.

É conveniente acrescentar que, devido à ausência do valor da cota zero da régua da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000, os valores das cotas altimétricas do rio, entre 1949 e 1971, foram estabelecidos com base no valor da cota zero da UHE Capivara, uma vez que a localização de ambas era próxima. Assim, estes valores devem ser vistos apenas como uma aproximação do comportamento real.

5.3.2 Períodos Hidrológicos do Rio Tibagi.

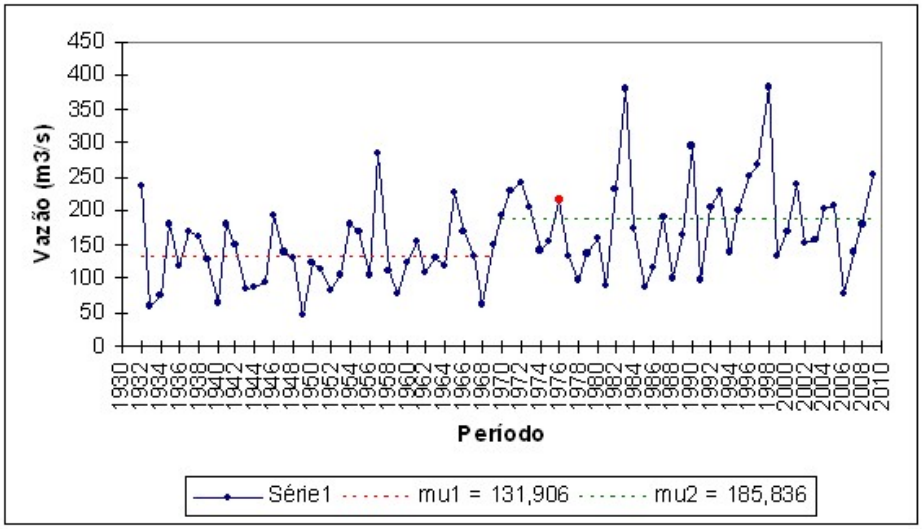
O teste de Pettitt indica ruptura nos dados de vazão média interanual e a presença de dois períodos hidrológicos, tanto na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 como na estação fluviométrica de Tibagi 64465000. Assim sendo, PH 1 está compreendido entre 1932 e 1969, e PH 2 entre 1970 e 2009 – (Figura 50) e (Figura 51).

Figura 50. Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Jataizinho 64507000.



Fonte: Dados de vazão obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. mu: Média. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 51. Teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Tibagi 64465000.



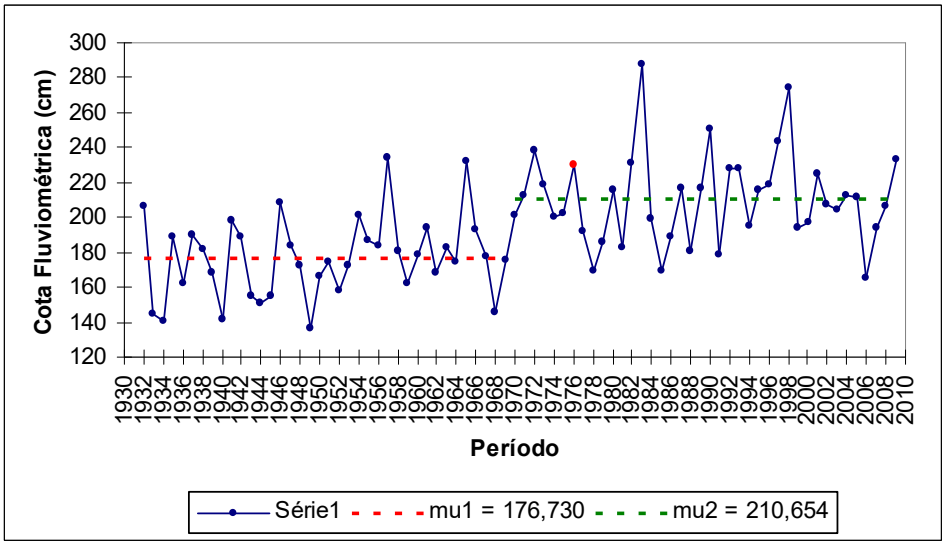
Fonte: Dados de vazão obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. mu: Média. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Os resultados corroboram com Araújo e Rocha (2010) na medida em que os autores indicam que a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi sofreu aumento dos débitos após a década de 1970, sendo identificada concentração de anos com vazões baixas – classe seca – no período anterior, e também o fato do aumento das vazões estar associado não apenas ao aumento de precipitações na bacia, mas, também, às alterações no uso da terra.

Como o foco principal desta pesquisa diz respeito às inundações na cidade de Jataizinho, o teste de Pettitt também foi aplicado para os dados de cota fluviométrica da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.

Os resultados apontam o mesmo comportamento verificado nos dados de vazão, isto é, dois períodos hidrológicos. Assim, para as cotas fluviométricas médias, PH 1 está compreendido entre 1932 e 1970, e PH 2 entre 1971 e 2009; enquanto para as cotas fluviométricas máximas e mínimas, PH 1 está compreendido entre 1932 e 1969, e PH 2 entre 1970 e 2009 (Figura 52).

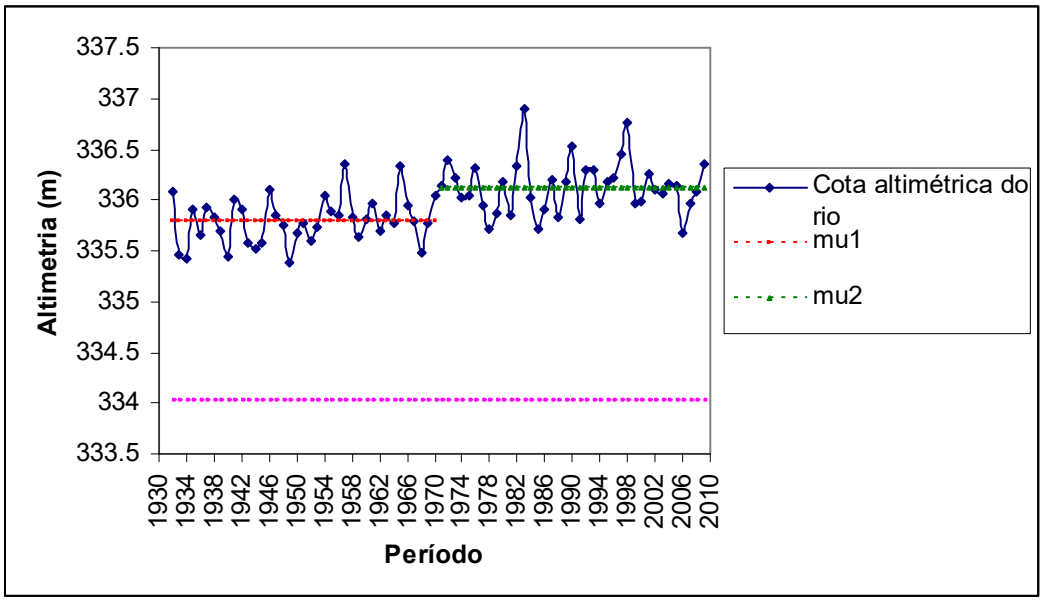
Figura 52. Teste de Pettitt aplicado às cotas fluviométricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Jataizinho 64507000.



Fonte: Dados de cota fluviométrica obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. mu: Média. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Sabendo-se que a cota zero do primeiro lance de régua da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 equivale a 335.965 m em relação ao nível médio dos mares, conforme informações contidas no histórico do inventário da ANA, - porém, com base em técnicas GNSS, equivale a 334.020 m –; aplicou-se a técnica de Pettitt também aos dados de cota altimétrica do Rio Tibagi, utilizando como referência os dois valores de cota zero. Como esperado, as rupturas coincidiram com aquelas referentes aos dados de cota fluviométrica (cm). Desse modo, PH1 está compreendido entre 1932 e 1970; enquanto PH2 está compreendido entre 1971 e 2009 (Figura 53). Os relatórios dos testes de Pettitt constam no (ANEXO 2).

Figura 53. Teste de Pettitt aplicado às cotas altimétricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica de Jataizinho 64507000.



Fonte: Dados de vazão obtidos em ANA (2005) e Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA. Ponto vermelho: Fechamento das comportas da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema. mu: Média. Cota zero da régua - GNSS: (334.020 m). Organizado por SOUSA, R.V.B.

5.4 Relação Entre a Variabilidade Hidrológica e os Índices Climáticos IOS, IOS da Região Niño 3.4 e ODP.

A variabilidade hidrológica foi relacionada com a variabilidade climática em escala interanual e interdecenal, por meio dos índices *Southern Oscillation Index – SOI* (IOS), IOS da região 3.4 e *Pacific Decadal Oscillation – PDO* (ODP), este elaborado por Mantua *et al* (1997). Essa relação auxiliou a identificar outros períodos hidrológicos que não foram identificados pelos testes estatísticos. Contudo, a fim de evitar confusão ao leitor, optou-se por apresentar somente os períodos hidrológicos obtidos pelo teste de Pettitt.

Conforme apontado na revisão bibliográfica, o ENOS é um fenômeno de variabilidade climática interanual, isto é, com alta frequência de ocorrência. O ENOS apresenta duas fases quantificadas pelo IOS, uma positiva quando se observa a ocorrência de *La Niña*, outra negativa quando se observa a ocorrência de *El Niño.* No que se refere ao *El Niño,* seu tempo de recorrência varia

entre 3 anos e 7 anos, e seu tempo de duração oscila entre 6 meses e 18 meses, conforme Molion (2005, p.1).

De acordo com BRASIL (2014), o *El Niño* e a *La Niña* impõem as seguintes alterações climáticas nas regiões do Brasil e na América do Sul – (Quadro 6) e (Quadro 7).

Quadro 6. Impactos do El Niño e da La Niña nas regiões do Brasil.

Regiões	El Niño	La Niña
	Características	**Características**
Região Norte	Diminuição da precipitação e secas e aumento do risco de incêndios florestais.	Aumento das precipitações e das vazões dos rios.
Região Nordeste	Secas severas.	Aumento das precipitações e das vazões dos rios.
Região Centro-Oeste	Não há evidências de efeitos pronunciados nas chuvas desta região. Há tendência de chuvas acima da média e temperaturas mais altas, no sul do Mato Grosso do Sul.	Área com baixa previsibilidade.
Região Sudeste	Moderado aumento das temperaturas médias. Não há padrão característico de mudanças na chuva.	Área com baixa previsibilidade.
Região Sul	Precipitações abundantes, principalmente, na primavera, e chuvas intensas de maio a julho. Há o aumento da temperatura média.	Secas severas.

Fonte: BRASIL (2014). Organizado por SOUSA, R. V. B.

Quadro 7. Impactos do El Niño e da La Niña na América do Sul.

Regiões ou países	El Niño	La Niña
	Características	**Características**
Colômbia	Redução das precipitações e das vazões dos rios.	Precipitação abundante e enchentes.
Nordeste do Peru e Equador	Aumento das precipitações e das vazões dos rios.	
Altiplano Peru-Bolívia	Secas.	Tendência de secas (somente no Peru)
Chile e Centro-Oeste da Argentina	Aumento das vazões dos rios.	Diminuição da precipitação.
Uruguai e nordeste da Argentina	Aumento da precipitação entre novembro e janeiro.	Diminuição da precipitação e secas (somente no Uruguai)

Fonte: BRASIL (2014). Organizado por SOUSA, R. V. B.

Conforme a literatura, as intensidades do *El Niño* e da *La Niña* podem ser classificadas como fraca, moderada e forte – (Quadro 8) e (Quadro 9).

Quadro 8. Episódios de *El Niño.*

1877 - 1878	1888 – 1889
1896 - 1897	1899
1902 - 1903	1905 – 1906
1911 - 1912	1913 - 1914
1918 - 1919	1923
1925 - 1926	1932
1939 - 1941	1946 - 1947
1951	1953
1957 - 1959	1963
1965 - 1966	1968 - 1970
1972 - 1973	1976 - 1977
1977 - 1978	1979 - 1980
1982 - 1983	1986 - 1988
1990 - 1993	1994 - 1995
1997 - 1998	2002 - 2003
2004 - 2005	2006 - 2007
2009 - 2010	-
Legenda: Forte Moderada Fraca	

Fonte: (RASMUSSON, CARPENTER, 1983; ROPELEWSKI, HALPERT, 1987; ROPELEWSKI, HALPERT, 1989 *apud* BRASIL, 2014).

Quadro 9. Episódios de *La Niña.*

1886	1903 - 1904
1906 - 1908	1909 - 1910
1916 - 1918	1924 - 1925
1928 - 1929	1938 - 1939
1949 - 1951	1954 - 1956
1964 - 1965	1970 - 1971
1973 - 1976	1983 - 1984
1984 - 1985	1988 - 1989
1995 - 1996	1998 - 2001
2007 - 2008	-
Legenda: Forte Moderada Fraca	

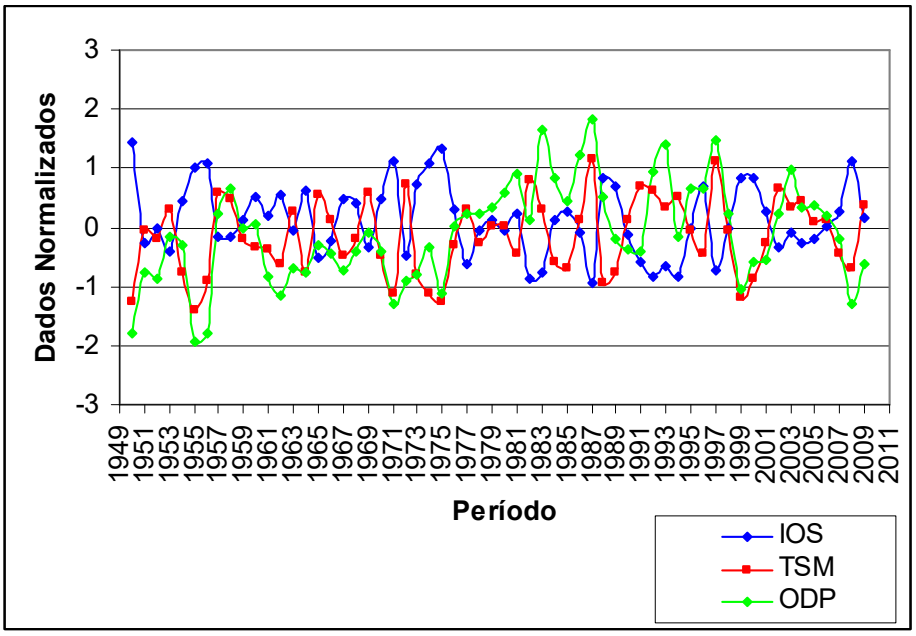
Fonte: (RASMUSSON, CARPENTER, 1983; ROPELEWSKI, HALPERT, 1987; ROPELEWSKI, HALPERT, 1989 *apud* BRASIL, 2014).

Dentre os eventos de *El Niño* com intensidade forte, o ocorrido em 1982-1983 foi o que ocasionou os maiores impactos socioeconômicos em escala global (MENDONÇA, 2007, p.192; MOLION, 1989, p.24). Entrementes, Molion (2005) assevera que a *La Niña* de 1984 e o *El Niño* de 1998 provocaram variações nas temperaturas médias, respectivamente, de -0,5 ºC e 0,7ºC. Estas variações foram suficientes para provocar impactos significativos em escala global.

A ODP, por sua vez, conforme levantamento bibliográfico, tem um tempo de recorrência mais longo, sendo caracterizada como uma variabilidade do tipo interdecenal a multidecenal, com baixa frequência de ocorrência, persistindo entre 20 e 30 anos, conforme Molion (2005, p.1). Apresenta similaridades em relação ao ENOS no que tange as anomalias de temperatura da superfície do mar – TSM e ventos e pressão ao nível do mar PNM. Assim, pelo fato da ODP ser uma variabilidade de baixa frequência, a literatura aponta que esta tende a modular a variabilidade do ENOS.

De acordo com Molion (2005 p.1), as temperaturas da superfície do Oceano Pacífico – TSM – apresentam configuração com variações de prazo mais longo, similar ao *El Niño*, denominada por Oscilação Decadal do Pacífico – ODP –, detalhada por Mantua *et al* (1997). Assim, a fase fria é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e, simultaneamente, por anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical, em ambos hemisférios. Em relação à fase quente, esta apresenta configuração contrária, ou seja, anomalias de TSM positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical. As anomalias interanuais de TSM, ODP e IOS, entre 1950 e 2009, podem ser observadas na (Figura 54).

Figura 54. Anomalias interanuais de TSM, ODP e IOS.

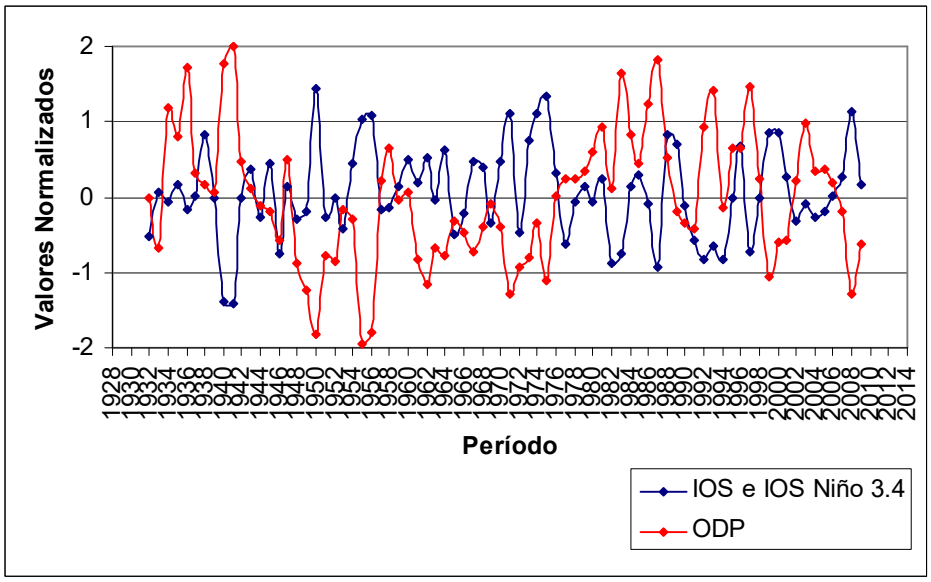


Fonte: Dados originais obtidos em NOOA (2015 a, b,c), JISAO (2015) e Mantua *et al* (1997). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Com base na divisão feita por Molion (2008, p.120), estabelecida através dos dados de Mantua *et al* (1997), a ODP apresentou as seguintes fases a partir da primeira metade do século XX: uma fase quente entre 1925 e 1946, a última fase fria entre 1947 e 1976, a última fase quente entre 1977 e 1998 e a inserção da ODP em uma nova fase a partir de 1999.

Em termos quantitativos, observa-se que, quando há o predomínio da fase positiva da ODP, há o predomínio da fase negativa do IOS; e quando ocorre o predomínio da fase negativa da ODP, verifica-se o predomínio da fase positiva do IOS (Figura 55).

Figura 55. Relação entre as médias interanuais dos índices IOS, IOS da região 3.4 e ODP.



Fonte: Dados originais obtidos em NOOA (2015 a, b,c), JISAO (2015) e Mantua *et al* (1997). Organizado por SOUSA, R.V.B.

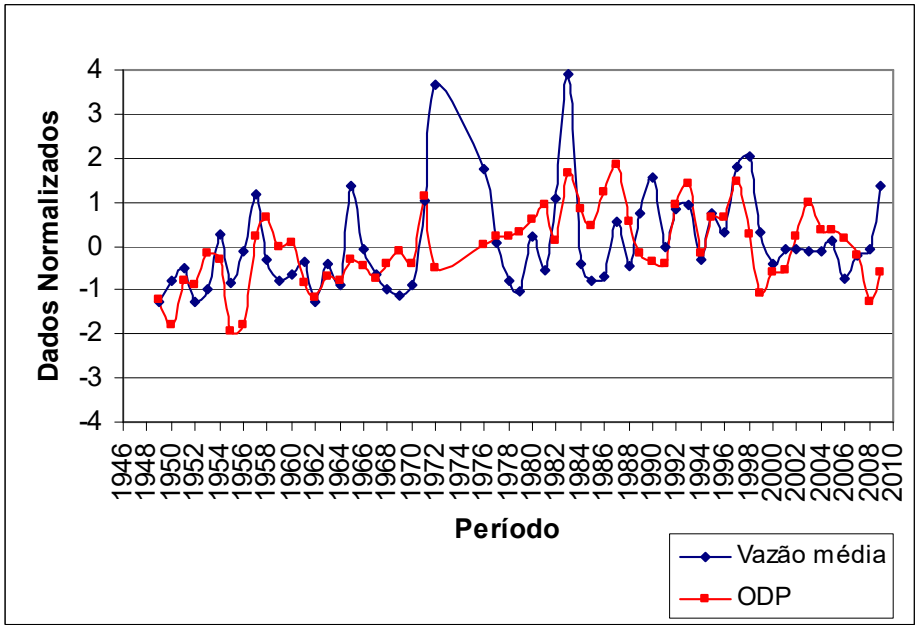
Com o intuito de verificar a relação entre as vazões dos sistemas fluviais investigados e os padrões de teleconexão ODP e ENOS, normalizaram-se dados de vazões médias, a fim de relacioná-las com os índices climáticos ODP, IOS e IOS da região Niño 3.4.

Os dados de vazões médias dizem respeito às estações fluviométricas utilizadas para a análise dos períodos hidrológicos. Utilizaram-se, então, dados de vazão da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000, da UHE Capivara, especificamente da vazão afluente, e das estações fluviométricas Jataizinho – 64507000 e Tibagi – 64465000. A análise foi feita inicialmente com o índice ODP e na sequência com o IOS e IOS da região Niño 3.4.

5.4.1 Relação Entre Variabilidade Hidrológica e ODP.

O gráfico que ilustra a relação entre a vazão da estação Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara com o índice ODP pode ser observado na (Figura 56).

Figura 56. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara e a média interanual do índice ODP.



Fonte: Dados originais do índice ODP obtidos em Mantua *et al* (1997), JISAO (2015). Dados originais de vazão obtidos em hidroweb/ANA. Período: 1949 a 2009. A partir de 1976 os dados de vazão são da UHE Capivara (vazão afluente). Organizado por SOUSA, R.V.B.

O relacionamento entre o índice ODP com a vazão da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema 64515000 e com a vazão afluente da UHE Capivara mostra que a vazão entre 1949 e 1970 está relacionada com a última fase fria da ODP, compreendida entre 1947 e 1976. Assim, o índice ODP mostra-se negativo na maior parte do tempo, de modo que esse mesmo comportamento é observado nas vazões médias.

Conforme informações contidas no histórico da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000, o início da construção da UHE Capivara, a partir de 1971, provocou alterações no regime de fluxo do Rio Paranapanema já naquele ano, de modo que a referida estação fluviométrica foi desativada em 1972. Nesse sentido, as vazões atípicas de 1971 e 1972 observadas na (Figura 56) estão relacionadas ao início da construção da UHE Capivara. Os anos de 1971 e 1972, portanto, não foram utilizados para os cálculos estatísticos que serão apresentados, não obstante tenha-se julgado conveniente não os retirar do gráfico, na medida em que o ano de 1971 marca uma mudança de comportamento hidrológico.

Além disso, é necessário ressaltar que a construção da UHE Capivara ocasionou um processo de remanso, o qual implicou no aumento

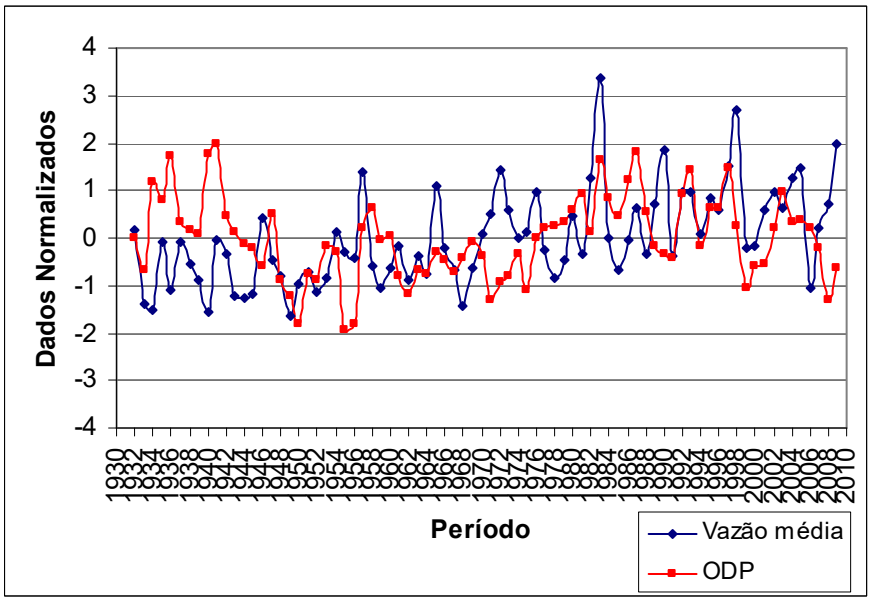
significativo da vazão, verificado a partir de 1976, ano do início da operação da usina hidrelétrica de Capivara. Vale destacar que o ano de 1976 coincide com o término da última fase fria da ODP.

Em decorrência desta interferência direta no canal fluvial, inicia-se em 1971 outro período hidrológico, estendendo-se até 1999. É importante frisar que, embora a origem desse novo período hidrológico não seja de ordem hidroclimática, a ODP influenciou a variabilidade da vazão da UHE Capivara, mesmo a vazão sendo regularizada. A prova disso reside na quantidade e na intensidade das vazões atípicas positivas muito superiores às do período hidrológico anterior, destacando-se os anos de 1983 e 1997, e, também, na perceptível redução da vazão a partir do ano 2000, o que dá indício de surgimento de um terceiro período hidrológico – apesar de as curtas séries dos dados disponíveis não permitirem afirmar isso. Destaca-se que, segundo Molion (2005, p.1), a partir de 1998 iniciou-se outra fase fria da ODP, logo, uma fase menos úmida.

Do ponto de vista hidroclimático, os dados revelam a existência de dois períodos hidrológicos e de um provável terceiro período hidrológico, a saber: um período menos úmido, compreendido entre 1949 e 1970; um segundo período mais úmido, entre 1971 e 1999, destacando que este período tem sua gênese na interferência direta do canal fluvial; e um provável terceiro período, a partir do ano 2000.

Na sequência, a (Figura 57) apresenta a relação entra a vazão da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 e o índice ODP.

Figura 57. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Jataizinho 64507000 e a média interanual do índice ODP.



Fonte: Dados originais do índice ODP obtidos em Mantua *et al* (1997), JISAO (2015). Dados originais de vazão obtidos em hidroweb/ANA. Organizado por SOUSA, R.V.B.

A respeito do relacionamento entre o índice ODP e a vazão da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, verifica-se que a vazão entre 1932 e 1949 mostra-se negativa na maior parte do tempo, embora a vazão neste intervalo de tempo esteja compreendida na fase quente da ODP – 1920 a 1946. O comportamento da vazão apresenta-se diferente do esperado, uma vez que se observam índices ODP, principalmente os positivos, no mesmo período. Esse comportamento distinto está relacionado à variabilidade interanual ENOS e será compreendido melhor após a análise dos dados de IOS.

Entre 1950 e 1978, período que está inserido principalmente na última fase fria e início da última fase quente da ODP, verificam-se valores de vazão e índice ODP negativos na maior parte do tempo, tendo em vista que a maioria dos dados está inserida na fase fria da ODP.

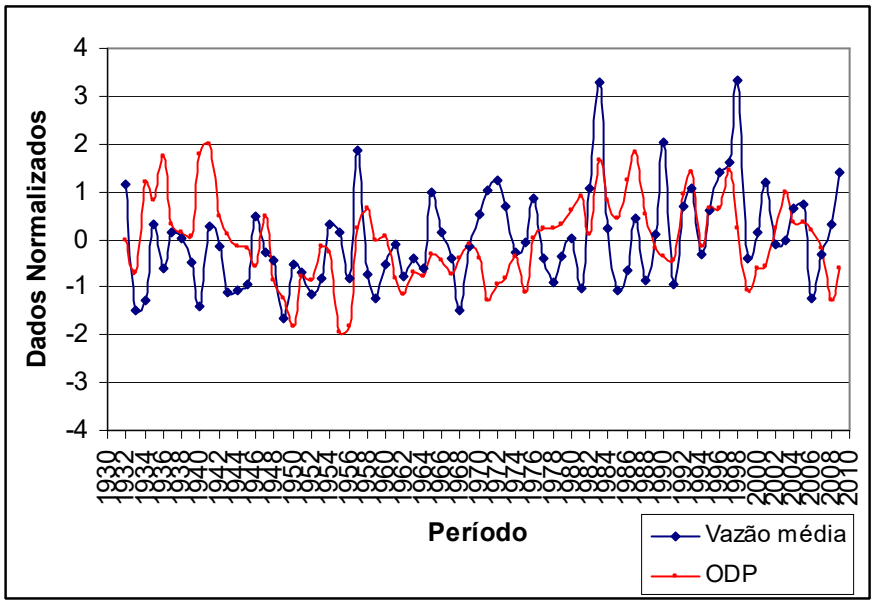
De 1979 a 1999, período que está inserido na última fase quente da ODP – compreendida entre 1977 e 1998 – e início da atual fase fria da ODP, a vazão mostra-se positiva na maior parte do tempo; enquanto o índice ODP apresenta o mesmo comportamento no referido período. Esse período também é marcado pela grande quantidade de vazões atípicas positivas, destacando-se os anos de 1983 e 1997.

A partir de 1999, período que corresponde à atual fase fria da ODP, observa-se tendência de redução, tanto da vazão, como do índice ODP, ainda que ambos valores continuem positivos na maior parte do tempo.

Com base em uma análise hidroclimática, percebe-se a existência de três períodos hidrológicos, a saber: entre 1932 e 1949, entre 1950 e 1978, entre 1979 e 1999, além da tendência para um quarto período hidrológico, a partir do ano 2000, embora a reduzida série temporal dos dados não permita fazer esta afirmação com convicção.

Os mesmos períodos hidrológicos, assim como o comportamento destes, são observados nos dados referentes à estação fluviométrica Tibagi – 64465000, destacando-se as vazões atípicas positivas de 1983, 1997 e 1998 - (Figura 58).

Figura 58. Relação entre a média interanual da estação fluviométrica Tibagi 64465000 e a média interanual do índice ODP.



Fonte: Dados originais do índice ODP obtidos em Mantua *et al* (1997), JISAO (2015). Dados originais de vazão obtidos em hidroweb/ANA. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Todavia, ao se comparar as duas estações fluviométricas, algumas diferenças são observadas. No período hidrológico entre 1932 e 1946 da estação fluviométrica Tibagi – 64465000 –, além da vazão se mostrar negativa na maior parte do tempo, observa-se maior incidência de vazões atípicas negativas, isto é, abaixo de um desvio-padrão. Também são observadas vazões atípicas negativas

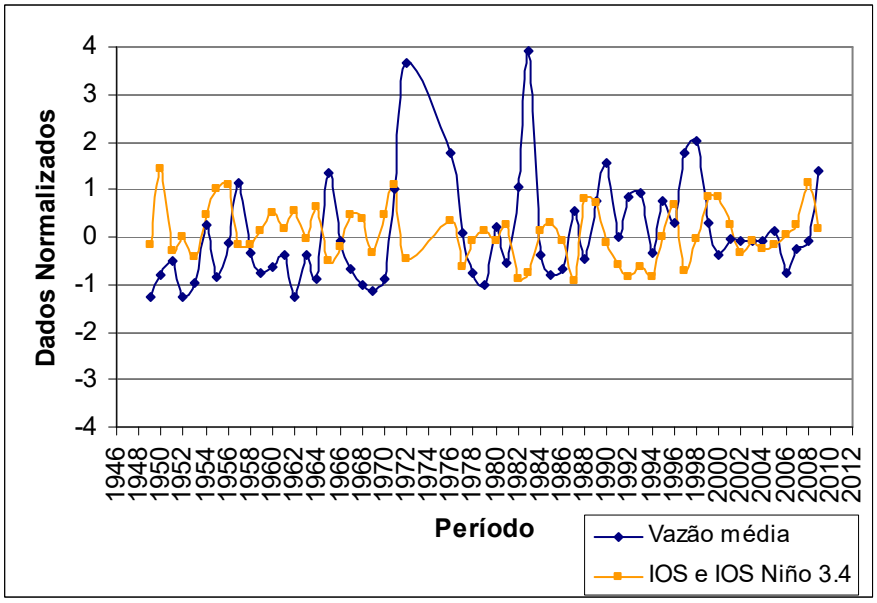
em maior número no período hidrológico compreendido entre 1950 e 1978, que corresponde basicamente à última fase fria da ODP.

Determinaram-se os coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2) e a média, com o intuito de se extrair informações quantitativas sobre o relacionamento vazão – ODP. Entretanto, como os resultados não foram significativos, optou-se não os apresentar.

5.4.2 Relação Entre Variabilidade Hidrológica, IOS e IOS da Região Niño 3.4.

O relacionamento entre os índices IOS e IOS da região 3.4 com a vazão da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema 64515000 e com a vazão afluente da UHE Capivara pode ser observada na (Figura 59).

Figura 59. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara e média interanual do IOS e IOS da região Niño 3.4.



Fonte: Dados originais do IOS e IOS da região Niño 3.4 obtidos em NOOA (2015 a, b,c) e JISAO (2015). Dados originais de vazão obtidos em hidroweb/ANA. Período: 1949 a 2009, sendo que a partir de 1976 os dados de vazão são da UHE Capivara (vazão afluente). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Os dados mostram que ambas variáveis analisadas tendem a ser controladas pela variabilidade da ODP. Nesse sentido, o período hidrológico compreendido entre 1949 e 1970, o qual está relacionado à última fase fria da ODP,

denota IOS positivo na maior parte do tempo e, consequentemente, índices de vazão negativos.

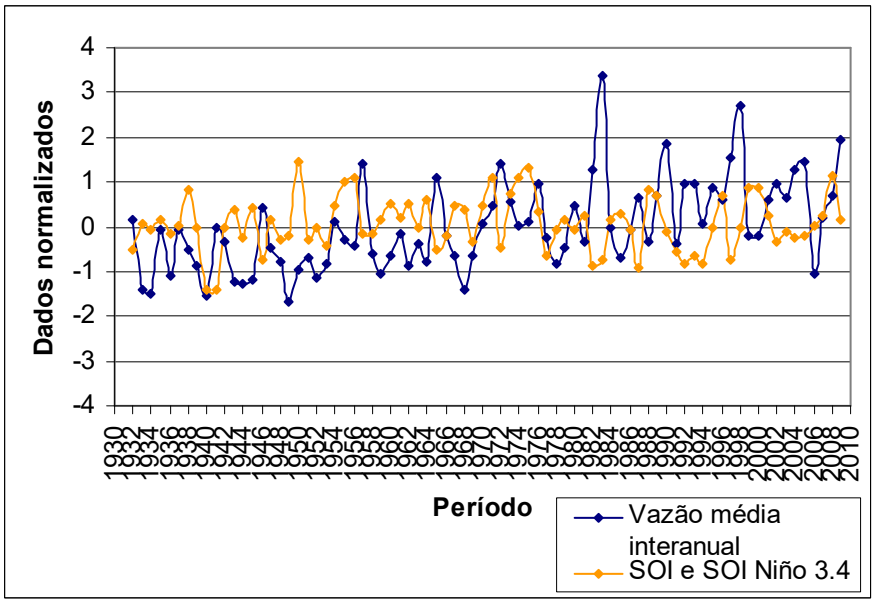
Vale lembrar que a fase positiva do ENOS, em que se observa IOS positivo e ODP negativo, na maior parte do tempo vincula-se à ocorrência de *La Niña*, denotando secas severas na região sul e pouca previsibilidade na região sudeste do Brasil; enquanto a fase negativa do ENOS, isto é, com IOS negativo e ODP positivo, na maior parte do tempo vincula-se à ocorrência de *El Niño,* denotando aumento da precipitação na região sul do Brasil e pouca previsibilidade na região sudeste do país. Todavia, Molion (2008, p.121) destaca que, de modo geral, eventos de *El Niño* tendem a produzir excesso de chuvas e inundações nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Com relação ao período hidrológico entre 1971 e 1999, o qual se insere na última fase quente da ODP, a configuração do IOS muda, e passam a ser observados, principalmente, valores negativos deste e valores positivos de vazão. Assim, destaca-se a vazão de 1983, a qual está relacionada ao episódio de *El Niño* 1982-1983, considerado o mais intenso do século XX ao presente; e a vazão de 1997, relacionada ao episódio de *El Niño* 1997-1998, o qual, conforme levantamento bibliográfico, também apresentou grande repercussão. Vale salientar que a intensidade de ambos episódios de *El Niño* mencionados é classificada como forte. As vazões atípicas de 1972 e 1971, como mencionado anteriormente, estão relacionadas à interferência direta no canal fluvial, especificamente, no início da construção da UHE Capivara. Da mesma forma, as vazões destes dois anos não foram utilizadas para os cálculos estatísticos apresentados nessa seção.

A partir do ano 2000, a configuração do IOS parece acompanhar a mudança da configuração da ODP, na medida em que se observa paulatinamente uma progressão para valores de IOS positivos, logo, valores de vazão negativos. Os mesmos períodos hidrológicos identificados na relação ODP – vazão – aplicam-se na relação IOS – vazão.

Acerca da relação entre dados de vazão da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 e IOS, esta pode ser observada na (Figura 60).

Figura 60. Relação entre vazão média interanual da estação fluviométrica Jataizinho 64507000 e média interanual do IOS e IOS da região Niño 3.4.



Fonte: Dados originais do IOS e IOS da região Niño 3.4 obtidos em NOOA (2015 a, b,c) e JISAO (2015). Dados originais de vazão obtidos em hidroweb/ANA. Período: 1932 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

O relacionamento entre os índices IOS e IOS da região 3.4 com a vazão da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 – mostra que a vazão do período hidrológico, entre 1932 e 1949, apresenta ocorrência de IOS positivos, ainda que com valores baixos na maior parte de tempo. Foi este comportamento do IOS o responsável pelas vazões do período se apresentarem negativas na maior parte do tempo, mesmo estando este período inserido na fase quente da ODP, compreendida entre 1920 e 1946.

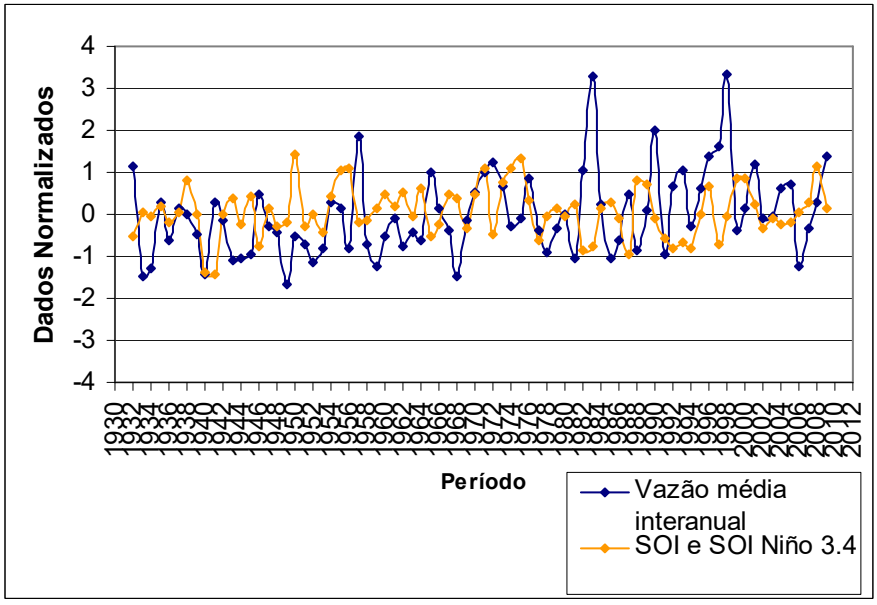
No que concerne ao período hidrológico entre 1950 e 1978 – que está inserido na última fase fria da ODP, compreendida entre 1947 e 1976 e início da última fase quente desta, a partir de 1977 –, o IOS apresenta-se positivo na maior parte do tempo; enquanto a vazão mostra-se principalmente negativa no mesmo período. Essa evidência está de acordo com a literatura, posto que que o período em questão é caracterizado pela ocorrência de *La Niñas* com intensidade forte e moderada.

Sobre o período entre 1979 e 1999 – que está inserido na última fase quente da ODP, compreendida entre 1977 e 1998 e início da fase fria da ODP em curso –, a configuração do IOS muda, passando-se a observar maior incidência de IOS negativo. Em contrapartida, as vazões apresentam-se positivas na maior

parte do tempo. Observa-se, também, maior ocorrência de vazão atípica positiva, isto é, acima de um desvio-padrão, com destaque para os eventos de *El Niño* de 1982-1983 e 1997-1998. De acordo com a literatura, designadamente as informações apresentadas no (Quadro 3), esse período é caracterizado pela ocorrência de *El Niños* com intensidade forte e moderada. Além disso, Molion (2005, p.2) assevera que a frequência de eventos de *El Niño / La Niña* foi maior durante a fase quente / fria da ODP. A partir de 1999, período que corresponde à atual fase fria da ODP, observa-se tendência de redução da vazão e de aumento do IOS.

Os mesmos períodos hidrológicos identificados na relação ODP – vazão aplicam-se na relação IOS – vazão. Do mesmo modo, todas as considerações feitas acerca da relação IOS – vazão da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 aplicam-se à estação fluviométrica Tibagi – 64465000 (Figura 61).

Figura 61. Relação entre a vazão média interanual da estação fluviométrica Tibagi 64465000 e a média interanual do IOS e IOS da região Niño 3.4.



Fonte: Dados originais do IOS e IOS da região Niño 3.4 obtidos em NOOA (2015 a, b,c) e JISAO (2015). Dados originais de vazão obtidos em hidroweb/ANA. Período: 1932 a 2009. Organizado por SOUSA, R. V. B.

No cômputo geral, as flutuações das vazões de todas estações fluviométricas analisada, incluindo os dados da UHE Capivara, mostraram boa relação com os índices climáticos ODP e IOS. Assim, vazões compreendidas nas fases quentes da ODP (IOS negativo) tenderam para vazões positivas na maior

parte do tempo; enquanto as compreendidas nas fases frias da ODP (IOS positivo) tenderam para vazões negativas na maior parte do tempo.

Esse padrão de relacionamento está de acordo com a literatura consultada. Molion (2008, p.125) observou o mesmo padrão de comportamento ao analisar as vazões do Rio Paraguai. Clarke *et al* (2003), ao analisar uma série de 95 anos de cota fluviométrica do Rio Paraguai, observaram aumento significativo do nível do rio, a partir de 1970, em decorrência do aumento das chuvas sobre a bacia. Tucci (2002) observou que as vazões do Rio Paranapanema, em Rosana, e do Rio Paraná, em Corrientes, sofreram incrementos de 46,2% e 27,8%, respectivamente. Parte deste incremento da vazão, conforme o autor, deve-se ao aumento da precipitação entre 15% e 17% sobre a Bacia Hidrográfica dos respectivos canais de drenagem.

Foram determinados os coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2) e a média com o intuito de se extrair informações quantitativas sobre o relacionamento vazão – IOS. Entretanto, como os resultados não foram significativos, optou-se não os apresentar.

Nesse sentido, os índices ODP e IOS mostram-se bons parâmetros para se avaliar a variabilidade hidrológica sob uma perspectiva hidroclimática, na medida em que é perceptível a relação entre alteração do regime de fluxo do rio e alteração do padrão de comportamento destes índices. Todavia, essa avaliação não deve ser feita estatisticamente de forma linear, uma vez que as variáveis em questão são, em verdade, não lineares. Assim, certamente outras técnicas estatísticas vinculadas à meteorologia são mais adequadas para se avaliar a correlação entre ODP, IOS e vazão.

5.4.3 Relação Entre Vazões Atípicas Positivas e os Índices Climáticos ODP, IOS e IOS da Região Niño 3.4.

Tendo em vista que os episódios de *El Niño*, de modo geral, intensificam as precipitações e, consequentemente, as inundações nas regiões sul e sudeste do Brasil, os anos que apresentaram vazões atípicas foram agrupados em quadros, a fim de se realizar uma análise mais detalhada destes episódios, focando principalmente as vazões atípicas positivas.

Esse agrupamento permitiu observar: a) quantos e quais anos apresentaram vazões atípicas e quais foram seus respectivos valores normalizados de vazão, b) se estes anos estavam relacionados com o fenômeno de *El Niño* e c) quais foram os valores normalizados dos índices IOS e ODP destes anos. Além disso, com base na literatura, foi possível identificar a intensidade do fenômeno *El Niño*[6]. O agrupamento dos dados referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e UHE Capivara pode ser observada na (Tabela 12). Os anos de 1971 e 1972 desta estação fluviométrica foram excluídos desta análise.

Tabela 12. Anos com ocorrência de vazões atípicas na estação fluviométrica Balsa do Paranapanema - 64515000 e os respectivos valores de IOS e ODP.

Episódios e intensidades de El Niño	Ano com vazões atípicas	Vazões atípicas normalizadas	IOS e IOS Niño 3.4	ODP
1957-1959	1957	1.30	-0.18	0.23
1965-1966	1965	1.50	-0.51	-0.31
	1971	1.20	1.11	-1.29
1977-1978	1978	-1.10	-0.07	0.24
1979-1980	1979	-1.30	0.14	0.34
1982-1983	1983	3.50	-0.76	1.65
	1985	-1.10	0.28	0.45
1986-1988	1986	-1.00	-0.08	1.24
1990-1993	1990	1.20	-0.12	-0.36
1997-1998	1997	1.40	-0.73	1.46
1997-1998	1998	1.60	-0.02	0.25
2006-2007	2006	-1.10	0.03	0.19
2009-2010	2009	1.00	0.17	-0.61

Intensidade do El Niño		Vazões atípicas	
	Forte		Atípicas positivas
	Moderada		Atípicas negativas
	Fraca		

Fonte: Dados originais de vazão: Hidroweb/ANA e Instituto de Águas do Paraná. IOS, IOS 3.4 e ODP: NOOA (2015 a, b,c), JISAO (2015) e Mantua e Hare (1997). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Verifica-se que a maioria dos anos com vazões atípicas positivas relaciona-se a episódios de *El* Niño e apresenta IOS negativo e índice ODP positivo. Destaca-se, também, que grande parte destes episódios de *El Niño* e vazões atípicas positivas está relacionada à última fase quente da ODP, chamando a

[6] (RASMUSSON e CARPENTER, 1983; ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; ROPELEWSKI e HALPERT, 1989 apud BRASIL, 2014).

atenção para os anos de 1983, 1997 e 1998, os quais apresentam as maiores vazões atípicas.

Em termos quantitativos, dos 8 anos que apresentam vazão atípica positiva, 6 possuem IOS negativo, o que representa 75% dos dados, enquanto 4 anos denotam índice ODP positivo o que equivale 50% dos dados.

Levando- em consideração a hipótese desta pesquisa, os anos com ocorrência de *El Niño* devem ser analisados com atenção, pois talvez possa ser observada maior relação entre o regime de operação da UHE Capivara e a ocorrência de inundações na cidade de Jataizinho.

De modo geral, percebe-se que a maioria dos anos com vazões atípicas positivas possuem IOS negativo – estão relacionados, portanto, à ocorrência de episódios de *El Niño* – e valores do índice ODP positivos, embora o padrão de ocorrência do índice ODP seja menos regular que o padrão de ocorrência do índice IOS.

Com relação à estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000, o agrupamento dos dados pode ser observado na (Tabela 13).

Tabela 13. Anos com ocorrência de vazões atípicas na estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000 e os respectivos valores de IOS e ODP.

Episódios e intensidades de *El Niño*	Anos com vazões atípicas	Vazões atípicas normalizadas	IOS e IOS da região Niño 3.4	ODP
	1933	-1.39	0.06	-0.68
	1934	-1.52	-0.06	1.18
	1936	-1.07	-0.17	1.73
1939 - 1941	1940	-1.55	-1.39	1.77
	1943	-1.24	0.36	0.11
	1944	-1.28	-0.26	-0.13
	1945	-1.19	0.43	-0.19
	1949	-1.66	-0.18	-1.23
	1952	-1.15	-0.01	-0.87
1957-1959	1957	1.41	-0.18	0.23
	1959	-1.06	0.14	-0.03
1965-1966	1965	1.08	-0.51	-0.31
1968-1970	1968	-1.41	0.39	-0.40
1972-1973	1972	1.41	-0.48	-0.92
1982-1983	1982	1.26	-0.88	0.11
	1983	3.36	-0.76	1.65
1990-1993	1990	1.87	-0.12	-0.36
1997-1998	1997	1.53	-0.73	1.46
1997-1998	1998	2.69	-0.02	0.25
2004-2005	2004	1.27	-0.26	0.35
	2005	1.46	-0.18	0.38
2006-2007	2006	-1.07	0.03	0.19
2009-2010	2009	1.96	0.17	-0.61

Intensidade do El Niño		*Vazões atípicas*	
	Forte		Atípicas positivas
	Moderada		Atípicas negativas
	Fraca		

Fonte: Dados originais de vazão: Hidroweb/ANA e Instituto de Águas do Paraná. IOS, IOS 3.4 e ODP: NOOA (2015 a, b,c), JISAO (2015) e Mantua e Hare (1997). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Pode ser observado que nem todas as ocorrências de episódios do fenômeno *El Niño* suscitam a existência de vazões atípicas positivas. Pode-se citar, como exemplos, os anos de 1940, 1959, 1968 e 2006, os quais registram vazões atípicas negativas. É importante salientar que essas exceções são reconhecidas na literatura, aspecto que foi evidenciado no levantamento bibliográfico realizado.

Verifica-se, também, que essas exceções estão relacionadas a episódios de *El Niño* com os três níveis de intensidade – forte, moderada e fraca –, não existindo, portanto, um nível de intensidade padrão para isso. Quanto ao IOS

registrado nestes anos, quase todos apontam valores positivos, exceto o ano de 1940. Assim, esse padrão mostra-se contrário à tendência habitual de anos com ocorrência de *El Niño,* qual seja, IOS com valores negativos.

Em contrapartida, verifica-se que quase todos os anos com ocorrências de vazões atípicas positivas, 11 no total, estão relacionados a episódios de *El Niño* e valores de IOS negativo, tendência habitual em episódios de *El Niño.* A ressalva fica somente para o ano de 2009, que denota IOS positivo. Isso equivale a dizer que 91% dos anos com vazão atípica positiva estão relacionados a valores de IOS negativo.

Já a relação dos anos com vazões atípicas positivas com o índice ODP aponta que 8 anos possuem índice ODP positivo, isto é, 73% dos anos. Assim, a maioria dos anos com vazões atípicas positivas está relacionada a índices ODP positivos.

O agrupamento dos dados referente à estação fluviométrica Tibagi – 64465000 pode ser observado na (Tabela 14).

Tabela 14. Anos com ocorrência de vazões atípicas referentes à estação fluviométrica Tibagi - 64465000, e os respectivos valores de IOS e ODP.

Episódios e intensidades de El Niño	Ano com vazões atípicas	Vazões atípicas normalizadas	IOS e IOS Niño 3.4	ODP
	1932	1.15	-0.53	-0.02
	1933	-1.50	0.06	-0.68
	1934	-1.28	-0.06	1.18
1939 - 1941	1940	-1.41	-1.39	1.77
	1943	-1.09	0.36	0.11
	1944	-1.07	-0.26	-0.13
1946-1947	1949	-1.67	-0.18	-1.23
	1952	-1.13	-0.01	-0.87
1957-1959	1957	1.87	-0.18	0.23
1957-1959	1959	-1.24	0.14	-0.03
1965-1966	1965	1.00	-0.51	-0.31
1968-1970	1968	-1.47	0.39	-0.40
	1971	1.02	1.11	-1.29
1972-1973	1972	1.23	-0.48	-0.92
	1981	-1.04	0.24	0.92
1982-1983	1982	1.05	-0.88	0.11
1982-1983	1983	3.31	-0.76	1.65
	1985	-1.06	0.28	0.45
1990-1993	1990	2.01	-0.12	-0.36
1990-1993	1993	1.05	-0.65	1.42
	1996	1.39	0.68	0.64
1997-1998	1997	1.62	-0.73	1.46
1997-1998	1998	3.33	-0.02	0.25
	2001	1.18	0.26	-0.56
2006-2007	2006	-1.23	0.03	0.19
2009-2010	2009	1.40	0.17	-0.61

Intensidade do El Niño		Vazões atípicas	
	Forte		Atípicas positivas
	Moderada		Atípicas negativas
	Fraca		

Fonte: Dados originais de vazão: Hidroweb/ANA e Instituto de Águas do Paraná. IOS, IOS 3.4 e ODP: NOOA (2015 a, b,c), JISAO (2015) e Mantua e Hare (1997). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Os dados apresentam basicamente o mesmo padrão de comportamento observado na estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, contudo com algumas particularidades.

Verifica-se que nem todas as ocorrências de episódios do fenômeno *El Niño* suscitam a existência de vazões atípicas positivas. Alguns anos, ao

contrário, apresentam vazões negativas. Como exemplo, podem ser citados todos os anos verificados nos dados da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, acrescentando o ano de 1949. Portanto, os anos são: 1940, 1949, 1959, 1968 e 2006.

Observa-se também em alguns episódios de *El Niño*, um padrão contrário ao valor de IOS. Assim, ao invés de valor médio negativo, tem-se valor médio positivo. Os referidos anos são 1968 e 2006.

Verifica-se que, dos 14 anos com vazões atípicas, quase todos, 71%, estão relacionados a episódios de *El Niño* e IOS com valores negativos, exceto os anos de 1971, 1996, 2001 e 2006. Essa diferença é 20% menor em relação à estação fluviométrica Jataizinho.

Já a relação dos anos com vazões atípicas positivas, com o índice ODP, aponta que 7 anos possuem índice ODP positivo, o que corresponde a 50%; enquanto a outra metade dos anos possui índice ODP negativo. A porcentagem, embora seja menor em relação ao IOS, demonstra que a metade dos anos com vazões atípicas positivas possuem índice ODP positivo.

De modo geral, observa-se boa relação entre ocorrência de *El Niño*, vazões atípicas positivas, IOS negativo e índice ODP positivo para todas as séries analisadas, incluindo os dados do Rio Paranapanema após o início de operação da UHE Capivara em 1976.

Na medida em que o foco da pesquisa debruça-se sobre a relação entre a ocorrência de inundações na cidade de Jataizinho e o regime de operação da UHE Capivara, verifica-se que, dos seis episódios de *El Niño* que denotaram vazões atípicas positivas na vazão afluente da UHE Capivara, cinco episódios proporcionaram o mesmo comportamento nas vazões referentes à estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, a saber: 1983, 1990, 1997, 1998 e 2009. Essa informação é considerada de fundamental importância para o relacionamento hidrométrico que se pretende realizar.

Procurou-se calcular os coeficientes de correlação e determinação entre vazões atípicas positivas e os índices climáticos IOS e ODP. Entretanto, como nas situações anteriores, os resultados não foram significativos, optando-se, portando, não os apresentar.

5.5 Episódios de Inundação Identificados na Cidade de Jataizinho.

5.5.1 Coeficiente de Compacidade – Kc e Fator de Forma – Kf das Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e do Ribeirão Jataizinho.

Os resultados acerca do coeficiente de compacidade – Kc e do fator de forma – Kf, índices discutidos por Villela e Mattos (1975, p.14), podem ser observados na (Tabela 15).

Tabela 15. Índice de compacidade e fator de forma das Bacias Hidrográficas do Rio Tibagi e Ribeirão Jataizinho.

	P (km)	A (km^2)	L (km)	Kc	Kf
Rio Tibagi	1087.7561	22032.9083	466.8112	2.05189	0.10111
Rib. Jataizinho	57.2853	111.4289	22.62025	1.51951	0.21777

P: Perímetro da bacia; A: Área da bacia; L: Comprimento do canal principal. Kc: Coeficiente de compacidade. Kf: Fator de forma. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Os resultados apontam que o coeficiente de compacidade – Kc é superior a 1 para ambas bacias hidrográficas, principalmente para a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi; enquanto o fator de forma – Kf é baixo para ambas bacias hidrográfica, principalmente para a Bacia Hidrográfica do Tibagi.

No que se refere à Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, os resultados de Kc e Kf conferem a esta uma forma mais alongada, acarretando menor susceptibilidade a inundações periódicas.

O resultado do coeficiente de compacidade – Kc da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jataizinho também lhe confere uma forma alongada, todavia menos pronunciada em relação à bacia anterior. Além disso, o resultado do fator de forma – Kf mostra-se duas vezes maior em detrimento da Bacia Hidrográfica do Tibagi. Fazendo-se uma análise comparativa dos resultados de Kc e Kf, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jataizinho mostra-se mais susceptível a inundações.

5.5.2 Episódios de Inundação Identificados Através do Relacionamento entre Dados Topográficos e Dados Hidrológicos do Rio Tibagi.

Coordenadas geodésicas de referência de nível – RN da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 e de locais espalhados pelo sítio urbano e pela

área rural da cidade foram coletados através de técnicas *GNSS,* visando à padronização do *datum* das cotas zero dos primeiros lances das réguas linimétricas – referentes ao reservatório de Capivara e às estações fluviométricas a serem utilizadas para o relacionamento hidrométrico – e visando também à construção de um modelo estereoscópico digital no modo anaglifo – óculos 3D –, tendo como um dos objetivos do uso deste modelo identificar a altitude das margens plenas do Rio Tibagi nas adjacências da cidade de Jataizinho.

Os resultados das cotas zero dos primeiros lances das réguas linimétricas podem ser observados na (Tabela 16). Uma matriz contendo as distâncias entre as estações de monitoramento pode ser evidenciada na (Tabela 17).

Tabela 16. Altitudes das cotas zero dos primeiros lances das réguas linimétricas, calculadas através de técnicas *GNSS.*

Régua linimétrica	Número da RN	Altura da RN (m)	Altitude calculada da RN (m)**	Altitude calculada da cota zero (m)**	Diferença da altitude calculada da cota zero (m)**	Diferença da altitude calculada da cota zero em relação à cota zero da UHE Capivara (m)**
UHE Capivara*	-	-	337.293	322.293	-	-
Estação FLU Jataizinho - 64507000	RN1	9.570	343.590	334.020	11.727	11.727
Estação FLU Canal de Fuga Jataizinho - 64506500	RN1	6.609	351.639	345.030	11.010	22.737
Estação FLU Chácara Ana Cláudia - 64506000	RN3	7.589	356.946	349.357	4.327	27.064

(*) A altitude da cota zero da UHE Capivara não foi calculada com base em RN. (**) As altitudes calculadas e as diferenças destas, dizem respeito à altitude ortométrica, isto é, com base no nível médio dos mares. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Tabela 17. Matriz de distâncias em quilômetros (Km) entre as estações fluviométricas, o limite máximo do remanso no Rio Tibagi e a UHE Capivara.

	UHE Capivara	Limite máximo do remanso no Rio Tibagi	EF Jataizinho 64507000	EF Canal de Fuga Jataizinho 64506500	EF Chácara Ana Cláudia 64506000	EF Porto Londrina 64501000
UHE Capivara		99,02	118,23	122,51	133,36	203,19
Limite máximo do remanso (RT)	99,02		19,21	23,49	34,34	104,17
Jataizinho 64507000	118,23	19,21		4,28	10,85	69,83
Canal de Fuga Jataizinho 64506500	122,51	23,49	4,28		6,57	65,55
Chácara Ana Cláudia 64506000	133,36	34,34	10,85	6,57		58,98
Porto Londrina 64501000	203,19	104,17	69,83	65,55	58,98	

Os rótulos estão dispostos de jusante para montante, tanto da esquerda para a direita na primeira linha superior, como de cima para baixo na primeira coluna da esquerda. EF: Estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Diante disso, procurou-se determinar, através de estereoscopia digital, a altitude das margens plenas do Rio Tibagi no trecho do rio que abrange a estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Na prática, porém, houve dificuldade para identificar as margens plenas ou o estágio de margens plenas, sobretudo o dique marginal, tanto por meio de estereoscopia como em campo.

Chegou-se à conclusão de que a ausência de dique marginal, neste caso em específico, talvez seja decorrente da própria ação erosiva do rio ou ação antropogênica. Ressalta-se, ainda, que é consenso na literatura, e foi discutido na revisão bibliográfica, a dificuldade para a determinação em campo do estágio de margens plenas, ou seja, a junção canal – planície de inundação – e do momento em que de fato ocorre o transbordamento do rio.

Devido à ausência do dique marginal, considerou-se como estágio ou nível de margens plenas a altitude da planície fluvial – Apf na margem direita da seção transversal da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, a qual diz respeito à cidade de Jataizinho. Em outras palavras, adotou-se como nível de margens plenas a cota de transbordamento do Rio Tibagi na margem direita.

Assim, tanto a morfologia da planície fluvial – Apf, como a altitude correspondente a esta, foram identificadas por meio de estereoscopia digital. O conhecimento da área de estudo, a posse de dados – como as coordenadas geodésicas *GNSS* obtidas em campo e o mapeamento morfológico realizado por Sousa (2012) – foram fundamentais para esta etapa.

Por outro lado, a identificação do nível de margens plenas através de estereoscopia digital não foi tão simples. Isso porque ora algumas áreas próximas ao Rio Tibagi se mostravam bastante alteradas pela ação humana, ora existia vegetação arbórea nas margens, fato que não permitia identificar a altitude do terreno, mas, sim, do dossel da vegetação.

Mesmo assim, foi possível identificar a altitude das margens plenas em um ponto próximo à foz do Ribeirão Jataizinho, apresentando as seguintes coordenadas geodésicas: X= 502416.6029 m, Y= 7429136.3040 m e Z = 339.346 m. Ressalta-se que, o nível de margens plenas identificado por meio de estereoscopia digital é muito próximo à altitude mínima de transbordamento, identificada pelos dados SRTM como 339.56 m, apresentando diferença de 21.4 cm. Todavia, como já salientado, os dados SRTM apresentam anomalias no traçado das isoípsas próximas aos canais fluviais.

Procurou-se relacionar o nível de margens plenas identificado por estereoscopia (N_{mp1}), 339.346 m, com o nível de margens plenas calculado, tomando como base os valores de cota zero do primeiro lance da régua linimétrica e da altura da cota de transbordamento, os quais estão registrados no histórico da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. O objetivo foi verificar se haveria diferença significativa nos valores.

Assim, de posse dos valores da altitude, da altura da RN1 e da altura da cota de transbordamento, tem-se que:

$$N_{mp2} = [(RN1_{gnss} - RN1) + C_t] \quad (41)$$

Sabendo-se que:

$$(RN1_{gnss} - RN1) = C_{0\ gnss} \quad (42)$$

Tem-se que:

$$N_{mp2} = C_{0\ gnss} + C_t \quad (43)$$

Sendo:

N_{mp2} = Nível de margens plenas calculado com base nos valores de cota zero da régua e da altura da cota de transbordamento registrada no histórico da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

$RN1_{gnss}$ = Altitude ortométrica da referência de nível 1, obtida por técnicas *GNSS* (343.590 m).

RN1 = Altura da referência de nível 1 – marco fixado em campo (9.570 m).

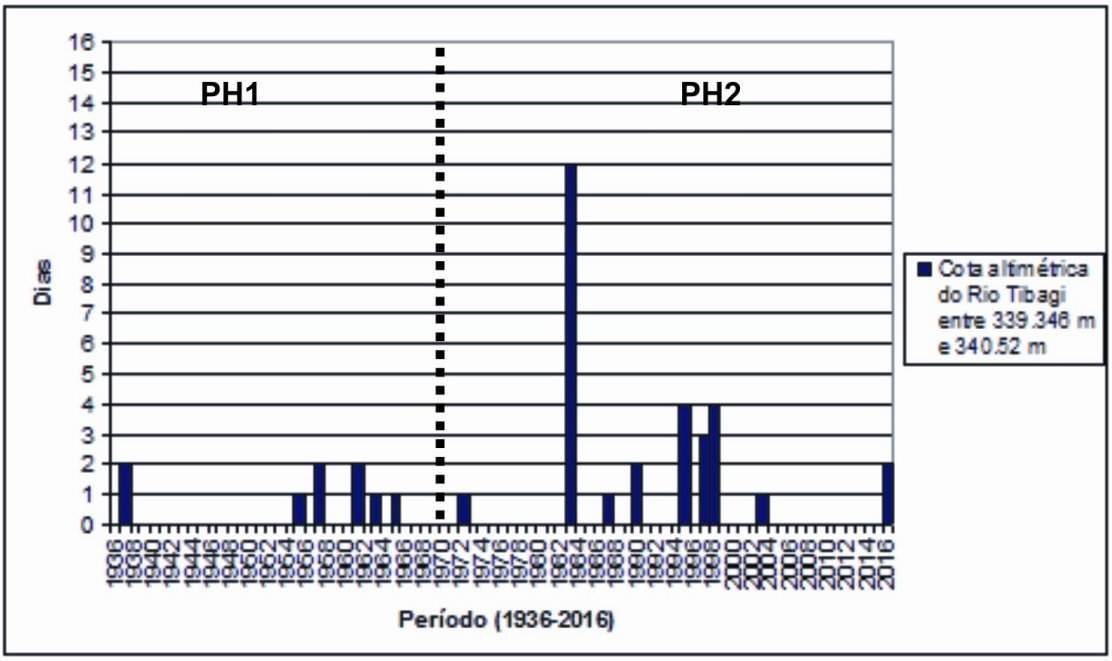
$C_{0\ gnss}$ = Cota zero obtida por técnicas *GNSS* (334.02 m).

Ct = Cota de transbordamento registrada no histórico da estação fluviométrica (5,40 m).

Sendo o resultado de N_{mp2} igual a 339.42 m e do N_{mp1} equivalente a 339.346 m, concluiu-se que a diferença entre os dois níveis de margens plenas é de 7.4 cm, mostrando os dois resultados muito próximos. O nível de margens plenas adotado foi o $N_{mp1,}$ 339.346 m, ou seja, aquele obtido com base nas técnicas aerofotogrametria digital.

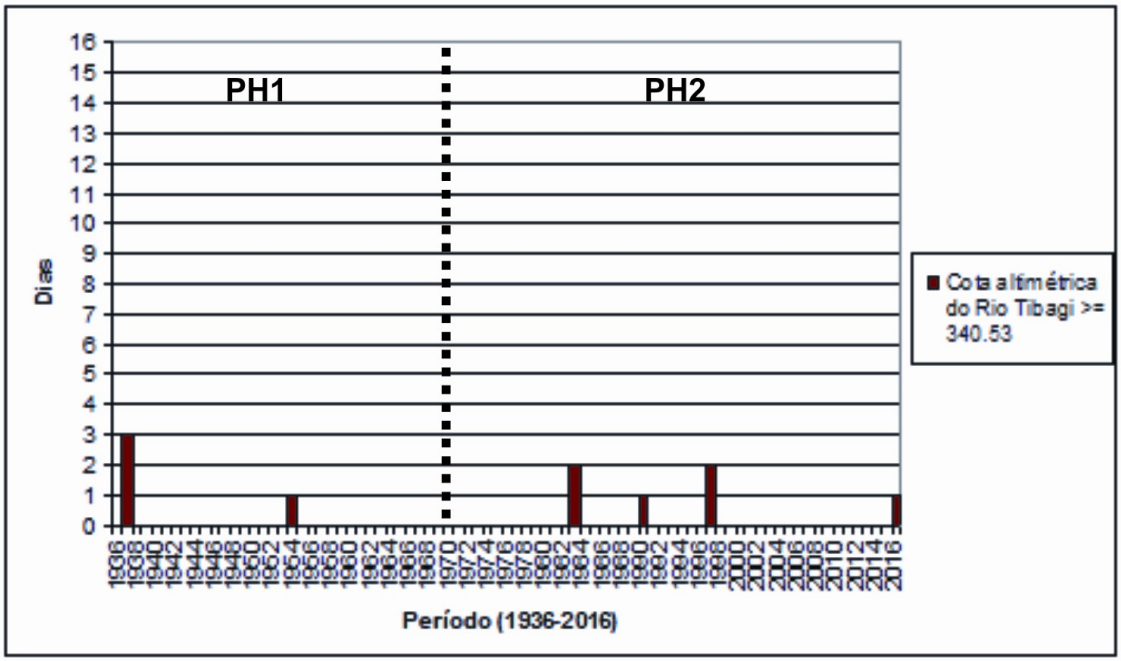
Foi analisada, então, a quantidade de episódios de inundação nos dois períodos hidrológicos identificados pelo teste de Pettitt: PH1 entre 1936 e 1970 e PH2 entre 1971 e 2016. Para isso, os dados de cota altimétrica do Rio Tibagi foram analisados nos seguintes intervalos: a) entre o nível de margens plenas, 339.346 m, e o início da altitude para a maioria dos terraços, 340.52 m e b) para cota altimétrica do Rio Tibagi igual ou superior a 340.53 m – (Figura 62), (Figura 63) e (Figura 64).

Figura 62. Número de dias com cota altimétrica do Rio Tibagi entre o nível de margens plenas, 339.346 m, e o início da altitude para a maioria dos terraços, 340.052 m.



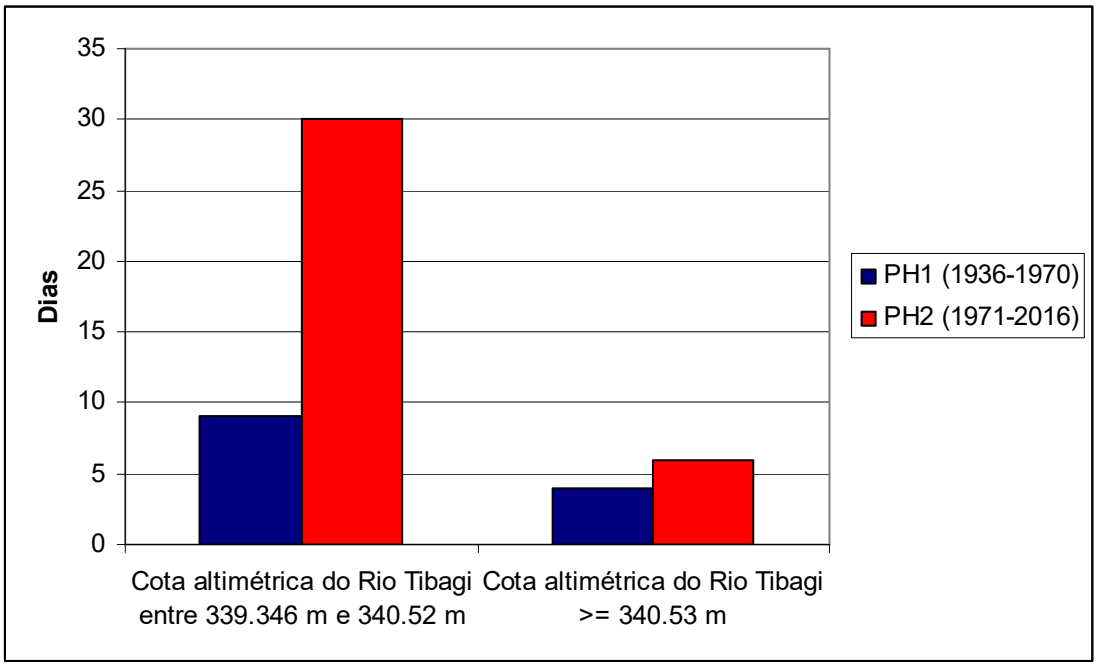
PH: Período hidrológico. PH1(1936-1970). PH2(1971-2016). Organizado por: SOUSA, R.V.B.

Figura 63. Número de dias com cota altimétrica do Rio Tibagi igual ou superior a 340.053 m.



PH: Período hidrológico. PH1(1936-1970). PH2(1971-2016). Organizado por: SOUSA, R.V.B.

Figura 64. Total de dias com cota altimétrica do Rio Tibagi igual entre o nível de margens plenas, 339.346 m e 340.52 m e igual ou superior a 340.053 m.



PH: Período hidrológico. PH1(1936-1970). PH2(1971-2016). Organizado por: SOUSA, R.V.B.

Os resultados apontam que houve aumento dos episódios de inundação no PH 2 em ambos intervalos de altimetria analisados, porém principalmente entre o nível de margens plenas, 339.346 m e 340.52 m, totalizando um aumento de mais que o triplo em relação ao PH1.

Ao analisar o total de dias em que o Rio Tibagi apresentou cota altimétrica igual ou superior ao nível de margens plenas, 339.346 m, os resultados apontam que as principais ocorrências coincidem com os anos que apresentaram vazões atípicas positivas, exceto 1946. Nesse sentido, também coincidem com a ocorrência de episódios de *El Niño*, principalmente aqueles com intensidade moderada ou forte. A esse respeito, destacam-se os anos de 1946, 1957 e 1965 durante o PH; enquanto, ao longo do PH 2, os anos de 1972, 1982, 1983, 1990, 1997, 1998 são os que mais ganham visibilidade.

As causas dessa mudança podem ser atribuídas parcialmente a fenômenos climáticos, como o ENOS e a ODP, na medida em que na fase quente da ODP, compreendida entre 1977 e 1998, que abrange o PH 2, houve grande ocorrência de eventos de *El Niño* com intensidade forte. Entretanto, os impactos socioeconômicos decorrentes dos fenômenos de inundação observados na cidade de Jataizinho não podem ser atribuídos unicamente à dinâmica climática.

Faz-se necessário, portanto, levar em consideração outras componentes que potencialmente podem contribuir para esta alteração do comportamento hidrológico, logo, para os processos de inundação na cidade de Jataizinho, a saber: a) mudança da cobertura vegetal ou do uso da terra da Bacia Hidrográfica do Tibagi e b) interferência antrópica no canal fluvial, especificamente no médio Paranapanema, após a construção da UHE Capivara, a qual transformou a foz do Rio Tibagi em área de remanso.

5.5.3 Episódios de Inundação, na cidade de Jataizinho Identificados nos Registros da Defesa Civil e nas Matérias de Jornais.

Inicialmente, foram analisados os registros de inundações e alagamentos obtidos na prefeitura de Jataizinho. Esses registros foram feitos pela Defesa Civil de Jataizinho e também constam no Cadastro da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná e no Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC.

A fim de melhorar a interpretação das informações contidas nos registros, optou-se em relacioná-las com os valores de cotas altimétricas do Rio Tibagi referentes à estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000.

É necessário ressaltar que as cotas altimétricas do Rio Tibagi foram calculadas com base na cota zero da régua obtida por meio de técnicas *GNSS,* com o intuito de padronizar os dados de cota altimétrica de todas as estações fluviométricas e da UHE Capivara, os quais serão utilizados no relacionamento hidrométrico.

Ao todo, foram analisados nove registros, referentes às seguintes datas: 01/03/1980, 29/12/1989, 29/09/1998, 22/01/1997, 21/03/1998, 18/03/2007, 19/10/2009, 29/01/2010 e 19/06/2016 (Quadro 10).

Quadro 10. Informações sobre inundações e alagamentos na cidade de Jataizinho obtidas nos registros da Defesa Civil de Jataizinho.

Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[7]	Bairros / áreas afetadas	Danos, locais mais afetados	Medidas adotadas
01/03/1980	337,42 m.	Todo o município.	Enxurradas ou inundações bruscas.	Aguardando preenchimento do NOPRED[8].
29/12/1989	337,93 m. ***Observação:*** *30/12/1989 = 338,94 m.* *31/12/1989 = 339,82 m.*	Todo o município.	Enchentes ou inundações graduais. **Causas:** Não informadas. **Danos humanos:** Desabrigadas: 600 pessoas. **Danos materiais:** Edificações danificadas: Residenciais: 150.	NOPRED cadastrado com encerramento do processo.

[7] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.
[8] NOPRED: Notificação Preliminar de Desastre.

Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[9]	Bairros / áreas afetadas	Danos, locais mais afetados	Medidas adotadas
22/01/1997	340,56 m.	Todo o município.	Enchentes ou inundações graduais. **Causas:** Não informadas. **Danos humanos:** Desalojadas: 900 pessoas. **Danos materiais:** Edificações danificadas: Residenciais: 180. Públicas: 02.	NOPRED cadastrado com encerramento do processo.
21/03/1998	337,35 m.	Todo o município.	Enxurradas ou inundações bruscas. **Causas:** Não informadas. **Danos humanos:** Mortas: 02 pessoas. **Danos materiais:** Edificações danificadas:	NOPRED cadastrado com o encerramento do processo.

[9] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.

			Públicas: 80.	
Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	**Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[10]**	**Bairros / áreas afetadas**	**Danos, locais mais afetados**	**Medidas adotadas**
29/09/1998	339,71 m.	Todo o município.	Alagamentos. Não consta registro de danos humanos e materiais.	Não constam quais foram as medidas adotadas.
18/03/2007	336,88 m	Parte da zona urbana, parte da zona rural. Parte da zona urbana (conj. Antonio José Vieira, Rua Brasília, Rua Orlando Gomes e Rua Tibaji). Parte da zona rural: Duas pontes danificadas, a seção Jangada, Roseira e Água do Tigrinho, Água Branca e Água do Paris, Cinco Manilhas danificadas nos locais acima descritos.	Enxurradas ou inundações bruscas. **Causas:** Aumento rápido dos Rios Jataizinho e Couro do Boi, alagando 50 residências as suas margens. **Danos humanos:** Deslocadas: 200 pessoas. **Danos materiais:** Edificações danificadas: Residenciais: 50. Pública: 01.	AVADAN[11] cadastrado com o encerramento do processo.

[10] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.
[11] AVADAN: Avaliação de Danos.

Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[12]	Bairros / áreas afetadas	Danos, locais mais afetados	Medidas adotadas
19/10/2009	Sem dados hidrológicos para esta data.	Zona urbana.	Enchentes ou inundações graduais. **Causas:** Enchente no Rio Jataizinho ocasionada por chuvas intensas. O Rio Jataizinho desemboca no Rio Tibagi que também se encontrava acima do seu leito normal. **Danos humanos:** Desalojadas: 115 pessoas. Desabrigadas: 06 pessoas. Afetadas: 203. **Danos materiais:** 0	NOPRED cadastrado com o encerramento do processo.

[12] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.

Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[13]	Bairros / áreas afetadas	Danos, locais mais afetados	Medidas adotadas
29/01/2010	Sem dados hidrológicos para esta data.	Todo o município.	Enxurradas ou inundações bruscas. **Causas:** De acordo com a SANEPAR, a média do mês de janeiro é de 200 mm, sendo que no dia do evento choveu 185 mm em 24 horas. **Danos humanos:** Afetadas: 1100 pessoas. **Danos materiais:** Sistema de transporte danificado.	Processo reconhecido.

[13] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.

Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[14]	Bairros / áreas afetadas	Danos, locais mais afetados	Medidas adotadas
19/06/2012	Sem dados hidrológicos para esta data.	Todo o município.	Enxurradas ou inundações bruscas. **Causas:** Chuvas torrenciais de aproximadamente 170 mm que afetaram todo o município, ocasionando danos materiais e deixando famílias desabrigadas. **Danos humanos:** Desabrigadas: 280 pessoas. Afetadas: 1500 pessoas. **Danos materiais:** Edificações danificadas: Residenciais: 38. Públicas: 02.	Processo reconhecido.

[14] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.

Data com ocorrência de inundação dd/mm/aa	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)[15]	Bairros / áreas afetadas	Danos, locais mais afetados	Medidas adotadas
25/06/2013		Não Informado.	Alagamentos: **Danos humanos:** Afetadas: 80 pessoas. **Danos Materiais:** Não informado.	Não Informado.
11/01/2016		Não Informado.	**Danos humanos:** Afetadas: 6151 pessoas.	Não Informado.

Fonte: Defesa Civil de Jataizinho, Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná e Sistema Nacional de Defesa Civil – SINDEC. Cota altimétrica do Rio Tibagi calculada pelo autor. Organização: SOUSA, R. V. B.

[15] Cota altimétrica do rio calculada pelo autor.

Assim, observa-se que, das seis datas que contém as informações altimétricas do rio, duas possuem valores acima do nível de margens plenas, isto é, acima de 339.346 m, quais sejam: 29/09/1998 e 22/01/1997; enquanto as quatro datas restantes apresentam valores abaixo do nível de margens plenas.

Isso demonstra que nem todas as ocorrências de inundações estão diretamente relacionadas ao transbordamento do Rio Tibagi. Embora as causas das inundações não estejam apontadas em todos os registros, os de 18/03/2007 e 19/10/2009 indicam que a causa foi o transbordamento do Ribeirão Jataizinho, tributário do Rio Tibagi que atravessa a cidade de Jataizinho. Sousa (2012) apontou as causas das inundações em Jataizinho dizendo que:

> Na cidade de Jataizinho, existem duas situações no que concerne à ocorrência de inundação. A primeira diz respeito ao transbordamento natural do rio Tibagi para o leito maior, ocupado de forma irregular, principalmente por chácaras, nas quais residem, em grande maioria, famílias de classe média. A segunda ocorre dentro da área urbana, sendo a origem do fenômeno o remanso que o ribeirão Jataizinho, tributário do rio Tibagi, sofre em decorrência do aumento do nível deste (SOUSA, 2012, p.146).

O autor acrescenta, ainda, que:

> É na segunda situação em que os danos sociais e econômicos são mais contundentes, ocasionando perdas materiais para o município e para as famílias de bairros pobres como: o bairro Frederico Lukarewisk e Vila Bernardes. O último é considerado o ponto mais crítico, com ocorrência inclusive de óbitos. Conforme informações concedidas por funcionários da prefeitura de Jataizinho, o prejuízo causado à cidade em janeiro de 2010, em decorrência de inundações, superou o montante de um milhão de reais (SOUSA, 2012, p.146).

Os dados mostram que, em praticamente todas as ocorrências de inundações e alagamentos registradas, constataram-se danos humanos, como pessoas desabrigadas, desalojadas e afetadas, e danos materiais, com edificações e, em algumas situações, sistemas de transporte afetados. Alguns registros, entretanto, não apresentam informações detalhadas, pormenor que dificulta uma análise mais apurada acerca de tais aspectos.

Assim, os cinco registros com maior quantidade de pessoas atingidas pelas inundações e alagamentos, considerando a soma de pessoas desalojadas, desabrigadas, afetadas e mortas, dizem respeito às datas: 21/03/1998 com 02 pessoas mortas; 11/01/2016 com 6151 pessoas atingidas; 19/06/2012 com

1780 pessoas atingidas; 29/01/2010 com 1100 pessoas atingidas; 22/01/1997 com 900 pessoas atingidas. Na sequência, vêm as datas: 29/12/1989 com 600 pessoas atingidas; 19/10/2009 com 324 pessoas atingidas; 18/03/2007 com 200 pessoas atingidas; 25/06/2013 com 80 pessoas atingidas.

Destas datas, apenas 22/01/1997 e 29/09/1998 apresentaram cota altimétrica do Rio Tibagi acima do nível de margens plenas, respectivamente 340,56 m e 339,71 m. O registro de 29/09/1998, porém, não especificou quantas pessoas foram atingidas.

Quanto ao registro de 11/01/2016, por ser recente, não houve tempo hábil para se adquirir e analisar os dados hidrológicos.

Acerca dos registros situados entre 2010 e 2013, é importante salientar que, entre outubro de 2010 e maio de 2013, existe uma lacuna dos dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho, o que impossibilita que seja feita qualquer relação entre os registros de inundação e dados hidrológicos neste intervalo de tempo. Coincidentemente, é a partir de 2010 que se observa a maior quantidade de pessoas atingidas pelas inundações. Esse fato induz à hipótese de que a lacuna dos dados hidrológicos, totalizando dois anos e sete meses, talvez seja proposital a fim de que a população não tenha acesso a esses dados.

Além disso, ressalta-se que, a partir de junho de 2013, a operadora da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 passou a repassar somente dados telemétricos. Esses dados, porém, infelizmente não estão sendo acessados via *hidroweb,* mas somente junto à Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA –, além de apresentam muitas falhas. Também faz-se necessário salientar que os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho estão alimentados, no banco de dados do *hidroweb,* somente até o ano de 2009. Verifica-se, assim, uma defasagem de seis anos, considerada aqui excessiva devido ao número de ocorrências de inundações na cidade de Jataizinho.

A ausência de dados hidrológicos em algumas datas, portanto, dificulta precisar quantos registros de inundações estão efetivamente relacionados ao transbordamento do Rio Tibagi, embora os referentes a 22/01/1997 e 29/09/1998 sejam extremamente importantes para o relacionamento hidrométrico que se pretende efetuar.

Independente da ausência de dados hidrológicos em alguns anos, é possível concluir que parcela significativa da população do município de Jataizinho é vulnerável aos fenômenos de inundações e alagamentos. O que pode ser constatado comparando a quantidade de pessoas atingidas pelas inundações em 11/01/2016, 6151 ao todo, com a população total do município, 11875 habitantes, conforme BRASIL (2010). Em termos percentuais, isso equivale dizer que 51.8% das pessoas foram atingidas por este episódio de inundação.

Em um cálculo percentual relativo (Equação 44), a quantidade de pessoas atingidas pela inundação de 11/01/2016 equivale a 518/1000 hab., ou 51797/100000 hab., taxas consideradas altas. Essas taxas tornam-se ainda mais significativas quando se observa a população total residente, nas áreas urbana e rural no município de Jataizinho, respectivamente, 11053 e 822 habitantes; enquanto a área do município e a densidade demográfica são, respectivamente, 159178 Km^2 e 74.60 hab/km^2, segundo BRASIL (2010)[16].

$$(P_{ind} / P_{tot}) \cdot \alpha \qquad (44)$$

P_{ind} = População atingida pela inundação.

P_{tot} = População total de Jataizinho.

α = Constante. Neste caso, ora usou-se 1.000, ora 100.000.

Dessa maneira, na medida em que a quantidade de pessoas atingidas pelo episódio de inundação utilizado como referência corresponde a aproximadamente sete vezes mais que a população total residente em área rural, fica evidente que a maior parte das pessoas afetadas pelas inundações, independente da intensidade, concentra-se na área urbana de Jataizinho, a qual absorve 93,1% da população total do município. No futuro, análise estatística destes dados poderá ser melhorada.

[16] O cálculo foi realizado pelo autor somando-se a população residente por cada faixa etária separadamente para área urbana e área rural.

Os números e as informações apresentadas até o momento, revelam que mais da metade da população de Jataizinho vive em área de risco de inundações ou alagamentos, indo ao encontro das informações contidas no mapeamento realizado por BRASIL (2015a, 2015f), especificamente pela Agência Nacional de Águas (ANA), na medida em que o município de Jataizinho é mapeado como um lugar que denota alta vulnerabilidade a inundações.

Resumidamente, o mapeamento mostra quais são os trechos das drenagens mais vulneráveis à inundação classificados em vulnerabilidade alta, média e baixa. As classes de impactos são classificadas como: alta (alto risco de dano à vida humana e danos significativos aos serviços essenciais, instalações e obras de infraestruturas públicas e residências); média (danos razoáveis a serviços essenciais, instalações e obras de infraestruturas públicas e residências) e baixo (danos localizados). Destaca-se que são focados os eventos de inundações graduais ou de planície, os quais possuem, como característica principal, a subida e a descida paulatina da cota fluviométrica dos rios. O mapeamento abrange todo o território brasileiro e é subdivido por regiões e Estados.

Após a análise dos registros de inundações e alagamentos feitos pela Defesa Civil de Jataizinho, examinaram-se as informações de matérias de jornais. Procurou-se sintetizar as informações contidas nas matérias de jornais em um quadro, subdividindo-as em: informações hidrológicas, informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas e impactos sócio-econômicos. Para facilitar a identificação das matérias que tratam sobre o tema investigado, estas foram sublinhadas (Quadro 11).

Adicionalmente, para estas mesmas datas, dados hidrológicos referentes à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, principalmente cota altimétrica, cota fluviométrica e vazão do Rio Tibagi, foram analisados e inseridos no quadro. Incluíram-se, também, as datas com ocorrência de alagamentos e inundações registradas pela Defesa Civil de Jataizinho e Ibiporã, adquiridas nas referidas prefeituras e as quais constam no Cadastro da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná. Isso possibilitou integrar todas essas informações, que serão de extrema importância para o relacionamento hidrométrico entre os dados das estações hidrométricas Jataizinho – 64507000, Canal de Fuga Jataizinho – 64506500, Chácara Ana Cláudia – 64506000 e UHE Capivara.

Quadro 11. Informações extraídas das matérias de jornais.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
23/01/1997	- Propriedades rurais sofrem inundação. - O rio deve ter subido entre 10 m e 15 m, pois cobriu toda a pilastra da ponte. *Observações:* *- Em 22/01/1997 a Defesa Civil de Jataizinho registrou ocorrência de enchentes e inundações graduais, na Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná.* *- Em 22, 23 e 24/01/1997, o nível altimétrico do Rio Tibagi foi, respectivamente, 340.56 m, 341.46 m e 339.35 m, isto é, três dias consecutivos acima do estágio de margens plenas.*	- Data da chuva: 22/01/1997.	- Famílias que vivem nas margens do Rio Tibagi têm que deixar as suas casas. - Moradores dizem que só não foi pior que as enchentes de 1989 (Relato). - Todos os tanques de um Pesque-Pague foram inundados.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
24/01/1997	- O Rio Tibagi estava 7 m acima do nível normal (Obs: provavelmente no dia anterior). - A vazão da UHE Capivara aumentou 40%. - *Observações:* *- Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que o Rio Tibagi apresentou cota fluviométrica, no dia anterior (23/01/1997), de 7.44 m ou 744 cm em relação à cota zero da régua, o que equivale a uma cota altimétrica do rio de 341.46 m.*	- As chuvas ocorreram de forma ininterrupta nos últimos três dias.	- Em Jataizinho, 800 pessoas ficaram desabrigadas. - As chuvas desabrigaram 3360 pessoas no Paraná. - 6 municípios do Paraná decretaram estado de emergência.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
25/01/1997	- A situação do reservatório de Capivara operado pela CESP se estabilizou. "A água que entra sai" (Relato de um engenheiro da CESP). - *Observações:* - *Neste dia, a cota altimétrica do Rio Tibagi era de 338.53 m.*		- Donos de chácaras inundadas querem indenizações da CESP: para eles, a companhia demorou em abrir as comportas durante a chuva. - O empresário Ernesto Púvaro Neto disse que "o rio subiu 1.5 m entre meia noite e três horas de quinta-feira (23/01/1997), e entre três horas e seis horas baixou 1 m, mesmo com chuva caindo na cabeceira" (Relato). "Para mim, a CESP só abriu as comportas quando viu que a ponte seria danificada" (Relato).

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
27/01/1997	- A matéria trata dos impactos que as enchentes causaram no Estado do Paraná, incluindo o município de Jataizinho.		- O Paraná receberá R$ 3 milhões do governo Federal para a compra de medicamentos destinados à população afetada pelas enchentes dos últimos dias. - As chuvas atingiram praticamente todo o Estado. - A situação é mais grave no noroeste do Estado e no Vale do Ribeira. 12 municípios estão em situação de emergência, dentre esses, Jataizinho. - O Estado do Paraná tem ainda 1270 pessoas desabrigadas em consequência das chuvas que já duram 5 dias em praticamente todo o Estado.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
28/01/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data. *- Observações:* *- Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que, nesta data, a cota altimétrica do Rio Tibagi foi de 338.36 m, isto é, próxima à cota de transbordamento.*	- Chuvas no Estado do Paraná, em especial em cidades no entorno de Curitiba e Ponta Grossa (cabeceiras do Tibagi) e de Foz do Iguaçu.	

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
04/02/1997	- Sem matéria relacionada a inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data. - Inundações em locais adjacentes à Usina Três Bocas, localizada no Ribeirão Três Bocas, em Londrina. - *Observações:* *- Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que, nesta data, a cota altimétrica do Rio Tibagi foi de 339.5 m, isto é, possivelmente atingiu a superfície de áreas adjacentes ao rio.*	- *Observações:* *- Provavelmente, o mesmo fenômeno atmosférico atuou nos dois locais em questão.*	

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
05/02/1997	- Bombeiros mantêm alerta na região de Jataizinho. - Ontem, 48 horas após a cheia que alagou parte dos bairros ribeirinhos de Jataizinho, as águas do Rio Tibagi continuavam acima do nível normal. - Segundo o corpo de bombeiros de Ibiporã, o nível do rio subiu 4 m. - *Observações:* - *Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que, entre os dias 04 e 07/02/1997, a cota altimétrica do Rio Tibagi oscilou entre 339.5 m e 337.82 m, portanto ultrapassou o nível de margens plenas.*		- 28 famílias ficaram desabrigadas. O caso mais crítico ocorreu na Vila Beira Rio, onde 13 chácaras foram totalmente inundadas.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
07/02/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data. Entretanto, a matéria apresenta reivindicações de cidadãos à CESP, cobrando explicações sobre o regime de operação da UHE Capivara. - *Observações:* *- Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que a cota fluviométrica estava 3.8 m, ou 380 cm, em relação à cota zero, o que equivale a uma cota altimétrica do rio de 337,82 m.*		- Vítima de enchente questiona a CESP acerca do critério utilizado pela empresa para abrir ou não as comportas da UHE Capivara. - O Eng. Ernesto Pívaro Neto mandou uma carta para a CESP cobrando explicações sobre o procedimento adotado pela CESP em episódios de cheia do rio. - Ele questiona o que fez as águas do Rio Tibagi subirem 7 m em 24 horas e logo em seguida baixarem na mesma velocidade. Depois diz que a ponte da BR 369 que liga Jataizinho a Ibiporã poderia ser danificada, uma vez que as águas do rio atingiram níveis altos nas pilastras da ponte (episódio que ocorreu entre 22 e 25/01).

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
12/03/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data.		
26/06/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data. - Futuras áreas que serão inundadas com a construção das usinas de Jataizinho e Cebolão, no baixo curso do Rio Tibagi, próximo à cidade de Jataizinho.		
21/08/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data. - Matéria sobre a construção das usinas de Jataizinho e Cebolão.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
26/08/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data. - Matéria sobre os impactos ambientais decorrentes da construção de hidrelétricas discutidos em um seminário realizado na UEL.		
19/10/1997	- Sem matéria relacionada às inundações do Rio Tibagi que ocorreram na cidade de Jataizinho nesta data.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
19/11/1997	- O nível do Rio Tibagi sobe e deixa a cidade de Jataizinho em alerta diante do risco de inundação. - No dia anterior (18/11/1997), o nível do rio esteve 3,85 m acima do normal e chegou próximo à ponte. - A CESP estava acompanhando o nível do rio constantemente e abrindo as comportas para escoar o excesso de água. - É comentado o fato do Ribeirão Jataizinho, que passa dentro da área urbana de Jataizinho, sofrer remanso devido ao aumento de nível do Rio Tibagi. - *Observações:* - Analisando os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 no dia anterior, 18/11, observa-se que o nível estava 3,83 m, ou 383 cm, em	- O nível do rio subiu nos últimos dias em decorrência das chuvas. - Chuvas constantes na cabeceira do rio Tibagi, na proximidade de Curitiba e Ponta Grossa.	- Cinco barcos ficaram de prontidão para socorrer as vítimas caso fosse necessário.

	relação à cota zero da régua, o que equivale a uma cota altimétrica de 337.85 m; enquanto no dia seguinte, 19/11, ou seja, na data da publicação da matéria, o nível estava 3.9 m, ou 390 cm, em relação à cota zero da régua, o que corresponde a uma cota altimétrica de 337.92 m.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
23/03/1998	- Tudo indica que ocorreu alagamento e não inundação. - *Observações:* *- Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que, neste dia, a cota fluviométrica do Rio Tibagi estava dentro da normalidade.* *- Neste dia, a cota altimétrica do Rio Tibagi era de 337.19 m.* *- Em 21/03/1998, a Defesa Civil de Jataizinho registrou, na Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná, a ocorrência de enxurradas ou inundações bruscas em todo o município. A cota altimétrica do Rio Tibagi era 337.35 m.*	- Chuva torrencial “tromba d’água” provoca cheia de rio dentro da área urbana de Jataizinho.	- Duas meninas morreram afogadas na noite de sábado (21/03/98) durante cheia de rio, no bairro Pombal em Jataizinho. - Quando elas atravessaram a ponte de um rio que passa dentro da cidade (provavelmente o Ribeirão Jataizinho), foram surpreendidas por uma chuva torrencial “tromba d’água” que fez o rio transbordar e arrastá-las, os seus pais ficaram presos nos arames farpados.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
24/03/1998	- A matéria não trata diretamente sobre a ocorrência de inundação nesta data, mas faz menção a algum episódio de inundação que ocorreu anteriormente. - *Observações:* - A cota altimétrica do Rio Tibagi, nesta data, foi de 337.095 m.		- A prefeitura de Jataizinho investigou se algum estouro de represa provocou o episódio de inundação anterior que levou as duas meninas a óbito.
02/08/1998	- Sem matéria relacionada a inundações do Rio Tibagi que ocorreram nesta data na cidade de Jataizinho. - Promotoria investiga irregularidades em EIA/RIMA de usina hidrelétrica a ser construída. - Projeto elaborado traria danos ao meio ambiente. Foram investigadas dez denúncias.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
07/08/1998	- Sem matéria relacionada a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho, nesta data.		
30/09/1998	- A Defesa Civil de Jataizinho está em alerta, devido ao nível do Rio Tibagi ter subido mais de 5 m, na noite anterior (29/09/1998). - *Observações:* *- No dia anterior, em 29/08/1998, a Defesa Civil de Jataizinho registrou, na Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná, a ocorrência de alagamento em todo o município* *- Os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 apontam que a cota fluviométrica, no dia 29/09/1998, era 5.69 m, o que equivale a uma cota altimétrica de 339.71 m, ultrapassando, portanto, o estágio de margens*	- Chuva atinge todo o Estado Paraná desde o final de semana (26/09/1998).	- Muitos municípios no Estado do Paraná sofreram impactos negativos com a chuva. - Proprietários de 21 chácaras nas ilhas do Rio Tibagi, nas adjacências de Jataizinho, usaram barcos para retirar móveis e objetos. -Aproximadamente 20 famílias foram retiradas ainda de madrugada e levadas para a casa de parentes em Jataizinho. - Nas chácaras da margem esquerda do Rio Tibagi, em Ibiporã, o corpo de bombeiros também realizou a retirada de moradores. - Na Vila Frederico Lucarewiski, em Jataizinho, um córrego sofreu remanso (provavelmente o Ribeirão Jataizinho) devido à elevação do nível do Rio Tibagi, o que provocou o

	plenas. *- Este episódio provocou o remanso dos canais fluviais que atravessam a cidade de Jataizinho, alagando ruas e casas.* *- No dia 30/09/1998, data referente à publicação da matéria, o nível do Rio Tibagi estava mais de 5 m acima da cota zero, especificamente 5.24 m, apresentando cota altimétrica de 339.42 m quando se observam os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, portanto, ainda acima do estágio de margens plenas.*		transbordamento daquele. Ressalta-se que a canalização (provavelmente do Ribeirão Jataizinho) com a presença de pontes estreitas intensifica o processo de transbordamento do rio, na medida em que o leito maior deixou de existir nestes locais do rio.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
08/10/1998	- Em Jataizinho, o nível do Rio Tibagi voltou a subir no dia anterior (07/10/1998), assustando os moradores de áreas mais baixas próximas ao rio. A Defesa Civil ficou em alerta. - O nível do Rio Tibagi aumentou 6 m, porém não foi especificada a data. - As comportas da UHE Capivara foram todas abertas. - A prefeitura e a Defesa Civil de Jataizinho ficaram em alerta máximo, monitorando o nível do Rio Tibagi a cada 2 ou 3 horas, mas o rio não chegou a transbordar. - (Obs: A informação anterior, todavia, não condiz com os dados hidrológicos e matérias de jornais anteriores, na medida em que no dia 29/09/1998, por exemplo, o nível do rio subiu 5.69 m e houve inundações na	- A Defesa Civil achou que pararia de chover na cabeceira do Rio Tibagi, entretanto uma nova frente fria provocou novas chuvas.	- A chuva deixou 7 mil pessoas desabrigadas.

	cidade). *- Observações:* *- Analisando os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000 no dia anterior isto é, 07/10/1998, o nível do Rio Tibagi foi de 5,4 m, denotando cota altimétrica de 339,53 m.* *- No dia 08/10/1998, referente à publicação da matéria, o nível do Rio Tibagi foi de 6.02 m, apresentando cota altimétrica de 340.04 m.* *- Ambos os valores de cota altimétrica do Rio Tibagi mostraram-se acima do estágio de margens plenas.*		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
24/11/1998	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		
29/11/1998	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Futuras hidrelétricas a serem construídas, no Rio Tibagi poderiam atingir terras indígenas. Usinas: Jataizinho, Cebolão, São Jerônimo, Mauá, Telêmaco Borba, Tibagi e Santa Branca.		
05/12/1998	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho, nesta data. - Projeto da hidrelétrica de Jataizinho a ser instalada no Rio Tibagi.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
23/12/1998	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Entidades debatem sobre novas hidrelétricas a serem construídas no Rio Tibagi.		
12/02/1999	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Trata sobre os projetos da COPEL para a instalação de UHEs no Rio Tibagi. - Impactos para a cidade de Londrina decorrentes da construção de usina hidrelétrica de Jataizinho. O abastecimento de água potável para a população será comprometido, pois a estação de captação da SANEPAR será submersa.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
20/02/1999	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		
21/02/1999	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		
07/03/1999	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - 11 municípios do Paraná que tiveram terras submersas pelo reservatório de Capivara, entram judicialmente com processo contra a CESP por danos ambientais. - Entre os argumentos, os representantes exigem indenização pelos impactos ambientais decorrentes da implantação do reservatório, alegando		

	desequilíbrio ecológico, como: extinção de fauna terrestre e aquática.		
23/09/1999	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Índios que vivem na Bacia Hidrográfica do Tibagi exigem indenizações caso as hidrelétricas sejam construídas. UHEs projetadas: Jataizinho, Mauá, Cebolão e São Jerônimo.		
17/11/1999	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
09/01/2001	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Existem 5 mil liminares - devem ser analisadas pela justiça - para suspender audiência pública sobre a construção de hidrelétrica no Tibagi.		
11/01/2001	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		
22/05/2001	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		
31/08/2002	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi que ocorreram, na cidade de Jataizinho, nesta data. - Ibama suspende processo de		

	construção de usina.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
29/01/2003	- De acordo com a Defesa Civil, o nível normal do rio é de 1.70 m. Às 10 horas do dia anterior, (28/01/2003), a régua registrava 6.28 m. No fim da tarde, já havia baixado 45 cm. *- Observações:* *- Analisando os dados hidrológicos do dia anterior, 28/01/2003, a cota fluviométrica do Rio Tibagi era de 5.56 m em relação à cota zero da régua, denotando cota altimétrica de 339.58 m, acima, portanto, do estágio de margens plenas.* *- Analisando os dados hidrológicos da estação fluviométrica de Jataizinho - 64507000, a cota fluviométrica, no dia 27/01, era 3.86 m ou 386 cm, o que equivale a uma cota altimétrica do rio de 337.88 m.*	- A chuva dos últimos dias fez o Rio Tibagi transbordar no dia 27/01/2003.	- Algumas casas foram atingidas pelas águas do rio. - "Foi de um segundo para o outro, só deu para pegar o colchão e sair" (Relato de Daniel Otaviano, que trabalha e mora em uma das 12 chácaras atingidas). - "A gente estava atento porque o rio estava subindo, mas não esperávamos que ele fosse invadir a casa, foi de repente" (Relato de um cidadão que não quis se identificar e que mora em uma chácara na beira do rio).

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
21/01/2005	- Bombeiros monitoram o Rio Tibagi. - No dia anterior, em 20/01/2005, o rio subia 30 cm/hora. As medições estavam sendo feitas sob a ponte que liga Ibiporã a Jataizinho. - No dia 21/01/2005, referente à publicação da matéria, a vazão estava 3 m acima do normal. Caso houvesse uma chuva forte, o rio poderia atingir o valor de vazão de risco – 8 m acima do normal. *- Observações:* *- O valor da cota altimétrica do Rio Tibagi, nos dias 21 e 22/01/2005, foram, respectivamente, 338.04 m e 338.14 m.* *- A matéria não fez menção a inundações ou alagamentos, propriamente ditos.* *- A matéria fez*		

	confusão entre as unidades de medidas de nível e vazão.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
31/10/2007	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Problemas relacionados à tempestade do dia anterior. - Uma casa foi parcialmente destruída pela enxurrada, e uma casa ao lado teve um muro levado pela água. - Não é mencionado nada sobre inundação. - Analisando os dados hidrológicos, a cota altimétrica do Rio Tibagi estava dentro da normalidade sem indícios de elevação (335.45 m).		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
06/02/2010	- A matéria versa sobre os prejuízos no norte do Paraná, especificamente o norte pioneiro, devido às chuvas e inundações. - Medições realizadas pela Duke Energy apontaram que o pico de vazão do Tibagi foi registrado às 22 horas do dia 30/01/2010. - *Observações:* - *No dia 29/01/2010 foi registrada ocorrência de inundação pela Defesa Civil de Jataizinho, porém não existem dados hidrológicos nem desta data, nem da data da publicação da matéria.*		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
20/06/2012	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Ocorrência de chuvas no norte do Paraná: Londrina, Jacarezinho, Cornélio Procópio, Santo Antonio da Platina e Cambará. Entretanto, não foi mencionada a cidade de Jataizinho. - Não existem dados hidrológicos da estação 64507000 – Jataizinho para esta data.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
21/06/2012	- *Observações:* - No dia 19/06/2012, a Defesa Civil de Jataizinho registrou, na Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Paraná, a ocorrência de enxurradas ou inundações bruscas em todo o município de Jataizinho. - Não existem dados hidrológicos da estação 64507000 – Jataizinho para esta data.	- Ocorrência de chuvas, no norte do Paraná. - As fortes chuvas desde segunda-feira (18/06/2012) provocaram a cheia do Rio Tibagi e de alguns afluentes, causando estragos principalmente nos municípios de Ibiporã e Jataizinho, os quais pertencem à região metropolitana de Londrina – RML.	- Problemas de alagamento em Ibiporã, Jataizinho e Londrina. - Em Jataizinho, 40 famílias tiveram suas casas inundadas. No dia 21/06/2012, foi decretado situação de emergência. - Os bairros mais afetados foram Vila Bernardes, Vila Frederico Lucarewisk e Jardim Maria Julia. - Algumas ruas e calçadas foram destruídas. - O muro do estádio municipal, com mais de 200 m de comprimento, desabou. - Outros municípios do norte do Paraná também sofreram danos em decorrência das chuvas.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
22/06/2012	- A matéria versa sobre inundações em Jataizinho. - *Observações:* - Não existem dados hidrológicos da estação 64507000 – Jataizinho para esta data.		- Após as chuvas, as famílias atingidas avaliam estragos. - Segundo a Defesa Civil de Jataizinho, o transbordamento do Rio Tibagi e do tributário Ribeirão Jataizinho, o qual atravessa a área urbana da cidade, obrigaram 60 famílias a deixarem as suas residências. - Os estragos se concentraram na Vila Frederico Lucarewiski, na Vila Bernardes, no Jardim Maria Julia e no Conjunto José Vieira. - (Com base em trabalhos de campo realizados anteriormente, estes bairros concentram muitas famílias carentes).

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
12/12/2012	- Sem matéria relacionada diretamente a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - Inauguração da UHE Mauá, no médio curso do Rio Tibagi. - Não existem dados hidrológicos da estação 64507000 – Jataizinho para esta data.		
16/12/2012	- Sem matéria relacionada a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
26/06/2013	- Cheia do Rio Tibagi em Jataizinho. - O volume das águas do Rio Tibagi, na tarde do dia anterior (25/06/2013), atingiu 5,5 m acima do nível normal. - *Observações:* - *A matéria fez confusão entre as unidades m e m3/s.* - *Não existem dados hidrológicos da estação Jataizinho – 64507000 para esta data.*	- "Está chovendo em muitas regiões do Estado, o rio enche muito rápido e a água vem de uma vez. O problema é que há correnteza nessa região, situação que gera um risco muito grande para essa população ribeirinha", observou o tenente do Corpo de Bombeiros, Rene Augusto Bortolassi (relato).	- Cerca de 60 mil pessoas de 45 cidades paranaenses sofrem com alagamentos, inundações, enxurradas e deslizamentos provocados pelas chuvas que atingem o Estado desde o final de semana (aproximadamente há três dias, 23,24 e 25/12/2012). - A cheia do Rio Tibagi inundou dezenas de imóveis em diversos bairros de Jataizinho. Acrescenta-se que o Ribeirão Jataizinho, que atravessa a área urbana, também trasbordou em alguns pontos, como na Vila Frederico Lucarewiski. - A área mais atingida pela inundação foi o conjunto de chácaras, localizado nas margens do rio que conta com mais de 20 unidades. Ao todo, 12 famílias foram retiradas de suas casas pelos

			bombeiros. - Em Ibiporã, 7 famílias foram retiradas da Vila Pimenta, considerada uma área de ocupação às margens do Rio Tibagi.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
27/06/2013	- Em Jataizinho, o volume do Rio Tibagi chegou a 5.5 m acima do nível normal. (A matéria não especificou a data e fez confusão com as unidades m e m3/s). - *Observações:* Não existem dados hidrológicos da estação 64507000 – Jataizinho para esta data.		- Conforme a Defesa Civil, 9 municípios do Paraná decretaram situação de emergência. Ao todo, 951 pessoas ficaram desalojadas por conta das chuvas. - 22 famílias ficaram desalojadas em Jataizinho. A situação ainda é de alerta e a Defesa Civil de Jataizinho está monitorando o nível do Rio Tibagi.
05/07/2013	- A matéria não trata especificamente sobre inundações, mas sim sobre temporais. - Não existem dados hidrológicos da estação 64507000 – Jataizinho para esta data.	- Jataizinho é um dos 113 municípios afetados pelos temporais de junho.	- O governo do Paraná reconhece emergência em mais 21 cidades, além das 59 da semana passada. - 13719 pessoas ficaram desabrigadas em todo o Estado.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
24/09/2013	- Sem matéria relacionada a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data. - A matéria versa sobre forte chuva com vendaval, porém não menciona nada sobre enchentes ou alagamentos. - Analisando os dados hidrológicos, observa-se que a cota altimétrica do Rio Tibagi estava dentro da normalidade, com 337. 79 m.		

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
12/06/2014	- *Observações:* *- A matéria dá a entender que não houve inundação em Jataizinho, embora, ao analisar os dados hidrológicos tenha-se obervado que a cota altimétrica do Rio Tibagi foi de 337.54 m.*		- A matéria trata sobre a preocupação dos ribeirinhos, em Jataizinho, a cada episódio de chuva neste período do ano. - "Enquanto obras não são realizadas, a população vem tomando as próprias precauções. As famílias estão erguendo muros, fazendo o que podem" (relato de Celso Biolada, presidente da Associação de Moradores da Vila Frederico Lucarewiski). - De acordo com Biolada, deveriam ser implementadas as seguintes ações para amenizar os impactos de inundação: a) alargamento da ponte de acesso ao bairro e b) a drenagem do Ribeirão Jataizinho, da proximidade do Rio Tibagi até a zona rural Água das Flores. - De acordo com Reinaldo Cícero

			Martins, coordenador da Defesa Civil de Jataizinho, haveria uma tentativa de marcar uma audiência pública com representantes da UHE Mauá, localizada no alto curso do Tibagi, inaugurada em 2012, e da UHE Capivara, localizada no médio Paranapanema, para entender melhor a logística destas usinas hidrelétricas e saber se há alguma influência.
25/07/2014	- Ao que tudo indica, foi um episódio de alagamento ocasionado por chuva na área urbana, associado ao transbordamento do Ribeirão Jataizinho, e não do transbordamento do Rio Tibagi. - Nenhuma casa foi inundada nesta data. - Os dados hidrológicos indicam que o nível do Rio Tibagi estava dentro da normalidade, a saber, 336.672 m.	- Elevação do nível dos rios que atravessam a cidade de Jataizinho devido à intensa chuva de ontem (26/07/2014) deixou em alerta parte da população.	- A maior preocupação era dos moradores da Vila Frederico Lucarewiski. - Na Rua Orlando Gomes, os muros dos imóveis próximos ao Córrego Coqueiro, tributário do Ribeirão Jataizinho, foram atingidos pelas águas daquele.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
14/09/2014	- Sem matéria relacionada a inundações do Rio Tibagi ocorridas na cidade de Jataizinho nesta data.		- A matéria trata da recorrência de episódios de inundações na cidade de Jataizinho. - Nos últimos cinco anos, ocorreram cinco fenômenos significativos relacionados a tempestades, alagamentos, enxurradas e inundações, que afetaram 13.2 mil pessoas. - As comunidades mais afetadas ficam próximas ao Rio Tibagi, ao Ribeirão Jataizinho e ao Ribeirão Coqueiro, tributário do Ribeirão Jataizinho. - A comunidade reivindica: a) a canalização e a limpeza dos rios que passam dentro da área urbana, b) obras em microbacias para a água ter por onde escorrer, c) alargamento das pontes sobre os rios urbanos e d) asfaltamento de ruas dentro da área urbana.

			- A Defesa Civil alega que os transtornos se tornaram mais comuns após a construção da UHE Mauá, no alto curso do Rio Tibagi, no entanto não explica o porquê.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
24/11/2015	*- A matéria aponta que houve inundação em Jataizinho.* *- Observações:* *- Não houve tempo de coletar e analisar os dados hidrológicos referentes a esta data, na medida em que a pesquisa já estava em curso.*	- Chuvas fizeram o Rio Tibagi subir mais de 3 metros e transbordar na cidade de Jataizinho, em 24/11/2015, terça-feira. - Esta notícia está disponível em: <http://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2015/11/rio-tibagi-sobe-e-donos-de-chacarassao-notificados-para-deixar-imoveis.html>. Acessada em: 05/02/2016.	- Proprietários de 21 chácaras foram notificados pela prefeitura para deixarem os imóveis. - Alguns acessos a esses imóveis encontravam-se alagados. - Alguns moradores relutaram em sair por medo de furtos. - Barcos foram posicionados para eventuais saídas. - Conforme a Defesa Civil de Jataizinho, duas famílias foram retiradas da Vila Frederico, próxima ao Ribeirão Jataizinho, o qual atravessa a cidade. Outras 20 residências foram notificadas devido ao risco de alagamentos neste bairro.

Data	Informações hidrológicas	Informações climáticas e/ou relações hidroclimáticas.	Impactos sócio-econômicos
11/01/2016	- O Ribeirão Jataizinho transbordou na cidade de Jataizinho. *- Observações:* *- Não houve tempo de coletar e analisar os dados hidrológicos referentes a esta data, uma vez que a pesquisa já estava em curso.*	- Devido às chuvas, desde 09/01/2016, o Rio Tibagi subiu entre 2.5 m e 3 m, e ocasionou o remanso do Ribeirão Jataizinho.	- A situação mais crítica foi a de 15 residências, na Vila Frederico. - Dorival Duarte, atual coordenador da Defesa Civil de Jataizinho, comentou que as casas desta vila estão situadas em locais de risco. O ideal seria removê-las para outros lugares e plantar mata ciliar nos locais de risco.
12/01/2016	- Diversos pontos da cidade, principalmente aqueles próximos ao Rio Tibagi, ficaram submersos. *- Observações:* *- Não houve tempo de coletar e analisar os dados hidrológicos referentes a esta data, uma vez que a pesquisa já estava em curso.*	- A forte chuva fez o Rio Tibagi transbordar na cidade de Jataizinho, região metropolitana de Londrina, na segunda-feira (11/01/2016). - No final da tarde de ontem (11/01/2016), o Rio Tibagi quase encobriu a ponte, na entrada da cidade.	- Moradores precisaram se locomover de barco. - A Defesa Civil passou a monitorar a situação e a atender os desalojados.

Das 53 matérias de jornais analisadas, 20 tratam, direta ou indiretamente, da ocorrência de inundações, na cidade de Jataizinho, entre 1997 e 2016. Primordialmente, as datas destas matérias são: 23/01/1997, 24/01/1997, 25/01/1997, 05/02/1997, 19/11/1997, 23/03/1998, 30/09/1998, 08/10/1998,

29/01/2003, 21/01/2005, 06/02/2010, 21/06/2012, 22/06/2012, 26/06/2013, 27/06/2013, 12/06/2014, 25/07/2014, 24/11/2015, 11/01/2016 e 12/01/2016. Convém destacar que a matéria do dia 06/02/2010 menciona outras duas datas que poderão ser investigadas, a saber, 29/01/2010 e 30/01/2010.

Por sua vez, as datas das matérias que abordam questões sobre impactos socioeconômicos decorrentes de inundações e chuvas, de forma mais geral para o Estado do Paraná, são cinco: 07/02/1997, 27/01/1997, 24/03/1998, 20/06/2012, 05/07/2013, o que totaliza 25 matérias relacionadas ao tema investigado.

Ressalta-se que, até o ano de 2014, as informações foram pesquisadas em matérias do jornal Folha de Londrina; enquanto a partir de 2015, as informações foram pesquisadas na *World Wide Web.*

Embora um número expressivo de matérias aborde a ocorrência de inundações na cidade de Jataizinho, vale destacar que 48% delas coincidem com o episódio do *El Niño* 1997-1998, o qual apresentou intensidade forte. Outros 19% das matérias, especialmente àquelas relacionadas aos anos de 2005, 2015 e 2016, coincidem com dois outros episódios de *El Niño,* a saber: 2004-2005 com intensidade fraca e 2015-2016. Portanto 67% das matérias coincidem com a ocorrência de episódios de *El Niño.* Os demais 33% das matérias dizem respeito a anos que não coincidem com ocorrência de *El Niño*, isto é, aquelas matérias referentes aos anos de 2003, 2012, 2013 e 2014. Uma ilustração contendo parte das matérias analisadas é apresentada na (Figura 65).

Figura 65. Ilustração de algumas matérias de jornais, acerca dos problemas de inundações na cidade de Jataizinho.



Fonte: Matérias consultadas na Folha de Londrina. Organizado por SOUSA, R.V.B.

O cruzamento das informações qualitativas e quantitativas acerca da ocorrência de inundações, na cidade de Jataizinho, obtidas até o momento, permite fazer alguns apontamentos relevantes:

- Os registros de inundações e alagamentos realizados pela Defesa Civil de Jataizinho e as matérias de jornais sobre estes fenômenos na cidade são dados que se complementam e que enriquecem substancialmente a análise desta problemática. Observa-se que, em algumas ocasiões, esses registros não coincidem na mesma data, apresentando diferença de poucos dias. Em outras situações, verifica-se o registro apenas em um tipo de documento e não em outro. Ao todo, 10 registros da Defesa Civil de Jataizinho e 20 matérias de jornais, totalizando 30 registros, tratam da ocorrência de inundações ou alagamentos na cidade de Jataizinho. É provável que a quantidade de matérias em jornais ainda seja maior, uma vez que não foram consultadas as das décadas de 1970 e 1980 devido ao tempo limitado.

- A análise do conjunto das informações aponta que nem todas as inundações na cidade de Jataizinho são decorrentes do transbordamento do Rio Tibagi, tendo em vista que o nível de margens plenas deste é 339.346 m. Em alguns episódios de inundação registrados, tanto pela Defesa Civil, como nas matérias de jornais, a cota altimétrica do Rio Tibagi esteve abaixo do nível de margens plenas. Nesse sentido, algumas inundações estão relacionadas ao transbordamento do Ribeirão Jataizinho, o qual é tributário do Rio Tibagi e sofre remanso em decorrência do aumento do nível deste.

    - Observa-se que, a partir da cota altimétrica 336.672 m do Rio Tibagi, a qual corresponde à altura de 265.2 cm na régua linimétrica, associada à ocorrência de chuvas na cidade de Jataizinho, tem-se o transbordamento do Ribeirão

Jataizinho – atentar para a data 25/07/2014 (Quadro 11). Todavia, entende-se que este não é um processo simples de ser analisado, na medida em que outras variáveis – como a intensidade da chuva, a ocorrência de chuvas na cabeceira do Rio Tibagi, e não propriamente sobre a cidade de Jataizinho, e o acréscimo de água no Ribeirão Jataizinho, proveniente de galerias pluviais – possivelmente interferem neste processo, deve-se atentar para as datas 01/03/1980, 29/12/1989, 19/11/1997, 21/03/1998, 18/03/2007 no (Quadro 11). Desse modo, verifica-se que o transbordamento do Ribeirão Jataizinho está relacionado a cotas altimétricas do Rio Tibagi entre 336.672 m e 337.93 m, isto é, entre 265.2 cm e 391 cm ou mais, na régua linimétrica. Considera-se que essa é uma informação importante para o monitoramento de áreas vulneráveis à inundação na cidade de Jataizinho.

- A análise do conjunto das informações permitiu identificar algumas datas de referência para a realização dos testes de regressão múltipla e para a construção dos hidrogramas e fluviogramas (Quadro 12). Além destas datas, todas que apresentam cota altimétrica do Rio Tibagi igual ou acima do nível de margens plenas, identificadas através da análise dos dados diários de cota altimétrica do Rio Tibagi, da estação hidrométrica Jataizinho – 64507000, foram inseridas nos testes de regressão múltipla.

Quadro 12. Datas de referência para a construção dos hidrogramas e fluviogramas.

Data	Fonte	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)	Observações mais relevantes extraídas das fontes.
01/03/1980	Defesa Civil	337.42	Enxurradas ou inundações bruscas. Todo o município.
29/12/1989*	Defesa Civil	337.93	Enchentes ou inundações graduais. Todo o município.
30/12/1989*	Dados hidrológicos	338.94	
31/12/1989*	Dados hidrológicos	339.82	
22/01/1997*	Defesa Civil	340.56	Enchentes ou inundações graduais.
23/01/1997*	Matéria de Jornal	341.46	Pessoas que viviam na margem do Rio Tibagi tiveram que deixar as suas casas.
24/01/1997*	Matéria de Jornal	339.35	A vazão da UHE Capivara aumentou 40%. 800 pessoas ficaram desabrigadas em Jataizinho.
25/01/1997*	Matéria de Jornal	338.53	- A vazão da UHE Capivara está normalizada (relato de um engenheiro da referida usina hidrelétrica). Moradores de chácaras inundadas reivindicavam indenização da CESP. Para eles, houve demora em abrir as comportas da barragem. - (Segundo relatos de moradores, obtidos em trabalho de campo; no dia em que o Rio Tibagi alcançou o nível máximo, isto é, 23/01/1997, o observador da estação fluviométrica Jataizinho - 64507000 não repassou as informações para os operadores da UHE Capivara). - (Durante a realização de trabalhos de campo, fotos cedidas pela prefeitura de Jataizinho mostram que o nível do Rio Tibagi alcançou o topo das pilastras que sustentam a linha férrea, a qual passa sobre o Rio Tibagi, provavelmente no episódio de inundação do dia 23/01/1997. Assim, em trabalhos de campo realizados posteriormente na área, mediu-se a altitude que a água alcançou nas pilastras, através de técnicas de topografia).

Data	Fonte	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)	Observações mais relevantes extraídas das fontes.
03/02/1997*	Dados hidrológicos	340.27	
04/02/1997*	Dados hidrológicos	339.5	
05/02/1997*	Matéria de Jornal	338.66	Bombeiros mantêm alerta em Jataizinho. No dia anterior, o nível do Rio Tibagi continuava acima do nível normal. 28 famílias ficaram desabrigadas. O caso mais crítico foi na Vila Beira Rio, onde 13 chácaras foram totalmente inundadas.
19/11/1997	Matéria de Jornal	337.92	A cidade de Jataizinho estava em alerta diante do risco de inundação. A CESP estava monitorando o nível do rio constantemente e abrindo as comportas da barragem para escoar o excesso de água. O nível do rio subiu em decorrência das chuvas nos últimos dias. Estava chovendo constantemente na cabeceira do Rio Tibagi.
21/03/1998	Defesa Civil / Matéria de Jornal	337.35	Enxurradas ou inundações bruscas. Todo o município. 2 pessoas mortas. (Matéria de jornal dois dias depois: Chuvas provocaram a cheia do Ribeirão Jataizinho e duas meninas morrem afogadas).
29/09/1998	Defesa Civil	339.71	Alagamentos. Todo o município.
30/09/1998	Matéria de Jornal	339.71	A Defesa Civil de Jataizinho ficou em alerta.
07/10/1998*	Dados hidrológicos	339.53	
08/10/1998*	Matéria de Jornal	340.04	Prefeitura de Jataizinho ficou em alerta. UHE abriu todas as comportas.
28/01/2003*	Dados hidrológicos	339.58	
29/01/2003*	Matéria de Jornal	337.88	A chuva dos últimos dias fez o Rio Tibagi transbordar.
21/01/2005	Matéria de Jornal	338.04	Bombeiros monitoram o Rio Tibagi.
18/03/2007	Defesa Civil	336.88	Enxurradas ou inundações bruscas. Parte das áreas urbana e rural. Causas: Aumento rápido dos rios Jataizinho e Couro do Boi.
19/10/2009	Defesa Civil	SD	Enchentes ou inundações graduais. Área urbana. Causas: Enchente do Rio Jataizinho ocasionada por chuvas intensas.

Data	Fonte	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)	Observações mais relevantes extraídas das fontes.
29/01/2010	Defesa Civil	SD	Enxurradas ou inundações bruscas. Todo o município. Causas: 185 mm de chuva/dia, sendo que a média mensal é 200 mm em janeiro. (Obs: provavelmente houve transbordamento de canais fluviais).
19/06/2012	Defesa Civil	SD	Enxurradas ou inundações bruscas. Todo o município.
21/06/2012*	Matéria de Jornal	SD	Cheia do Rio Tibagi e alguns afluentes em Jataizinho e Ibiporã.
22/06/2012*	Matéria de Jornal	SD	Os transbordamentos do Rio Tibagi e do Ribeirão Jataizinho obrigaram 60 famílias a deixarem as suas residências na Vila Frederico Lucarewiski, na Vila Bernardes, no Jardim Maria Julia e no Conjunto José Vieira.
25/06/2013*	Defesa Civil	SD	Alagamentos.
26/06/2013*	Matéria de Jornal	SD	A cheia do Rio Tibagi inundou muitos imóveis em diversos bairros de Jataizinho. Ribeirão Jataizinho, que atravessa a área urbana, também trasbordou em alguns pontos, como na Vila Frederico Lucarewiski. A área mais atingida pela inundação foi o conjunto de chácaras localizado nas margens do rio, que conta com mais de 20 unidades. Ao todo, 12 famílias foram retiradas de suas casas pelos bombeiros.
27/06/2013*	Matéria de Jornal	SD	22 famílias ficaram desalojadas em Jataizinho.
12/06/2014	Matéria de Jornal	SD	A matéria não trata de inundações nesta data, mas sobre a preocupação de ribeirinhos em relação a este problema. São apontadas algumas alternativas que poderiam ser adotadas para se evitar os danos causados pelo transbordamento do Ribeirão Jataizinho, e mencionada a tentativa do coordenador da Defesa Civil na época em conversar com representantes da UHE Mauá, localizada no médio curso do Rio Tibagi, a qual entrou em operação em 2012.
25/07/2014	Matéria de Jornal	336.672	O nível do Ribeirão Jataizinho transbordou devido ao excesso de chuva. A maior preocupação era com os moradores da Vila Frederico Lucarewiski.
24/11/2015	Matéria de Jornal	Dados não coletados devido às análises dos dados já estarem em andamento.	Transbordamento do Rio Tibagi.

Data	Fonte	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)	Observações mais relevantes extraídas das fontes.
11/01/2016*	Matéria de Jornal	Dados não coletados devido ao fato de as análises dos dados já estarem em andamento.	Transbordamento do Ribeirão Jataizinho. A situação mais crítica foi em 15 residências, na Vila Frederico.
12/01/2016*	Defesa Civil / Matéria de Jornal	Dados não coletados devido ao fato de as análises dos dados já estarem em andamento.	Transbordamento do Rio Tibagi. No dia anterior, a água do rio cobriu a ponte na entrada da cidade.

(*) Datas consecutivas que foram identificadas. SD: Sem dados. Fonte: Cotas altimétricas do Rio Tibagi calculadas pelo autor, Defesa Civil do Paraná e Folha de Londrina. Organizado por SOUSA, R.V.B.

- Em algumas situações, tanto nos registros da Defesa Civil como nas matérias de jornais, os termos alagamento, enchente, cheia e inundação aparecem como sinônimos, o que dificulta saber se o evento registrado foi decorrente do transbordamento da água dos canais fluviais, ou decorrente de chuvas intensas responsáveis pelo alagamento de alguns setores da cidade de Jataizinho. As inundações decorrentes do Rio Tibagi, entretanto, são relatadas com mais frequência como inundações ou transbordamentos, o que torna a informação mais clara.
- Pesquisou-se, no catálogo de imagens do INPE, a existência de imagens orbitais referentes às datas – ou datas próximas - de episódios de inundação do Rio Tibagi com base nos registros de inundações consultados, incluindo os dados diários de cota altimétrica do Rio Tibagi. Entretanto, nenhuma imagem orbital foi encontrada nestas datas, o que já era esperado devido ao excesso de nuvens, ou, quando foram encontradas, a cota altimétrica do Rio Tibagi correspondente à data das imagens estava em seu nível normal. Sublinha-se que foram consultadas imagens orbitais da série LANDSAT, isto é, LANDSAT 1, LANDSAT 2, LANDSAT 3, LANDSAT 5 e LANDSAT 7, dos satélites CBERS 2 e CBERS 2B, e dos satélites RESOURCESAT 1 e RESOURCESAT 2 (Quadro 13).

Quadro 13. Imagens de satélite encontradas com as datas mais próximas a episódios de inundação.

Data	Fonte	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)*	Observações mais relevantes extraídas das fontes.
04/07/1982. LANDSAT 3. Sensor: MSS. Órbita: 238. Ponto: 76.	INPE	337.355	Imagem orbital com ruído e excesso de nuvem. Cota altimétrica do Rio Tibagi: Nível normal.
11/06/1987. LANDSAT 5. Sensor: TM. Órbita:222. Ponto:76.	INPE	336.055	Cota altimétrica do Rio Tibagi: Nível normal.
22/08/1990. LANDSAT 5. Sensor: TM. Órbita: 222. Ponto: 75.	INPE	336.955	Cota altimétrica do Rio Tibagi: Nível normal.
23/08/1995. LANDSAT 5. Sensor: TM. Órbita: 222. Ponto: 76.	INPE	336.855	Cota altimétrica do Rio Tibagi: Nível normal.
07/07/1999. Imagem retirada do catálogo.	INPE	337.455	Cota altimétrica do Rio Tibagi correspondente: Nível normal.
27/05/2002. LANDSAT 7 Sensor: ETM Órbita: 222. Ponto: 76.	INPE	336.455	Cota altimétrica do Rio Tibagi correspondente: Nível normal.
02/11/2005. Imagem retirada do catálogo.	INPE	337.355	Imagem orbital. Cota altimétrica do Rio Tibagi em seu nível normal.

Data	Fonte	Cota altimétrica do Rio Tibagi (m)*	Observações mais relevantes extraídas das fontes.
14/02/2009. Imagem retirada do catálogo.	INPE	336.055	Imagem orbital. Cota altimétrica do Rio Tibagi em seu nível normal.

5.6 Relacionamento Hidrométrico Entre Dados Pluviométricos e Dados de Estações de Monitoramento do Rio Tibagi e do Reservatório da UHE Capivara.

5.6.1 Regressão Linear Múltipla.

Cenário 1

As variáveis explicativas que formam o modelo do Cenário 1 são cota altimétrica da UHE Capivara defasada em 1 dia – X1B e precipitação acumulada dos últimos 7 dias – X4G; já a variável resposta é a cota altimétrica do Rio Tibagi, na EF Jataizinho – 64507000.

Os parâmetros e os dados estatísticos referentes ao modelo do Cenário 1 podem ser observados na (Tabela 18). O script dos testes efetuados no *software* R pode ser observado no (ANEXO 4).

Tabela 18. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo do Cenário 1.

```
Residuals:
       Min         1Q     Median         3Q        Max
-0.0025567 -0.0007480 -0.0002339  0.0004927  0.0056536

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1.473e-04  5.864e-05   2.512   0.0123 *
X1B         7.975e-02  7.425e-03  10.741   <2e-16 ***
X4G         2.955e-05  1.431e-06  20.648   <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.001216 on 580 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4868,   Adjusted R-squared:  0.485
F-statistic: 275.1 on 2 and 580 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error: Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística F do modelo; DF= graus de liberdade. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Analisando a (Tabela 18) observa-se que o p-valor do β das variáveis preditoras são significativos, com valores inferiores a 2e-16, rejeitando-se, assim, a hipótese do β ser zero.

Com o intuito de verificar o nível de significância do β de cada variável explicativa, isto é, se β é significativamente diferente de 0, analisaram-se os valores t referentes ao β das variáveis explicativas. Para isso, cruzou-se o valor t de cada β com seus respectivos valores críticos de t (tc), apresentados em Triolla (2012, p.699).

Constata-se que o *β* das variáveis X4G e X1B são significativamente diferentes de 0, ou seja, denotam significâncias, posto que o valor *t* é maior que *tc*. Por outro lado, valor t referente ao *β* da variável X4G mostra-se 1.92 vezes superior ao valor t referente ao β da variável X1B. Conclui-se, portanto, que a variável X4G se ajusta melhor à variável resposta no Cenário 1.

A regressão linear múltipla do modelo referente ao Cenário 1 assume a seguinte forma (Equação 45):

$$Y = 7.975e\text{-}02\ X1B + 2.955e\text{-}05\ X4G + 1.473e\text{-}04 \quad (45)$$

Analisando-se o *β* das varáveis explicativas, observa-se que quando há aumento dos valores das variáveis, a saber, cota altimétrica da UHE Capivara

defasada em 1 dia – X1B e precipitação acumulada dos últimos 7 dias – X4G, os valores da variável resposta também aumentam.

O aumento do nível do Rio Tibagi, no Cenário 1, é influenciado pela precipitação acumulada de 7 dias, comportamento esperado devido ao tamanho da Bacia Hidrográfica do Tibagi, aproximadamente 25000 km^2. Além do tamanho da bacia hidrográfica, vale destacar que a maioria dos dados hidrométricos utilizados no modelo do Cenário 1 diz respeito a datas em que não ocorreram inundações. Em termos quantitativos, 579 dados dizem respeito a datas sem inundação e 4 dados dizem respeito a datas com inundação.

Na medida em que o teste *t* apontou que o β da variável precipitação acumulada de 7 dias – X4G é o *β* mais significativo, pode-se concluir que esta variável é responsável pelo aumento dos valores, tanto da variável cota altimétrica da UHE Capivara defasada em 1 dia – X1B como da variável resposta, isto é, da cota altimétrica do Rio Tibagi.

Cenário 2

Para o cenário 2 foram identificados dois modelos. No modelo 1, as variáveis explicativas que melhor se ajustaram foram cota altimétrica da UHE Capivara defasada em 1 dia – X1H e precipitação acumulada dos últimos 7 dias – X4G, sendo a variável resposta a cota altimétrica do Rio Tibagi, na EF Jataizinho – 64507000. No modelo 2, substitui-se a variável X4G pela variável precipitação acumulada dos últimos 2 dias – X4B.

Os parâmetros e os dados estatísticos referentes ao modelo 1 e ao modelo 2 podem ser observados na (Tabela 19) e na (Tabela 20). O script dos testes efetuados no *software* R pode ser observado no (ANEXO 4).

Tabela 19. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo 1 do Cenário 2.

```
Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.18318 -0.38097 -0.08989  0.34901  1.70713

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.005449   0.063250  -0.086 0.931597
X1H          0.264487   0.065293   4.051 0.000132 ***
X4G          0.749836   0.065293  11.484  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.5364 on 69 degrees of freedom
  (85 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7204,   Adjusted R-squared:  0.7123
F-statistic: 88.88 on 2 and 69 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error: Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística F do modelo; DF= graus de liberdade. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Tabela 20. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo 2 do Cenário 2.

```
Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.01911 -0.43484  0.08711  0.34425  1.12161

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.007636   0.061335   0.125    0.901
X1H         0.285058   0.062888   4.533 2.38e-05 ***
X4B         0.756791   0.062888  12.034  < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.5199 on 69 degrees of freedom
  (85 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7373,   Adjusted R-squared:  0.7297
F-statistic: 96.82 on 2 and 69 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error: Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística F do modelo; DF= graus de liberdade. Organizado por SOUSA, R.V.B.

A comparação entre os resultados dos principais testes estatísticos dos dois modelos do cenário 2 pode ser observada na (Tabela 21).

Tabela 21. Comparação entre os resultados dos principais testes estatísticos referentes ao modelo 1 e modelo 2 do cenário 2.

Testes	**Modelo 1**	**Modelo 2**
p-valor	<2.2e-16	<2.2e-16
Estatística F	88.88	96.82
R^2	0.7204	0.7373
R^2 ajustado	0.7123	0.7297
AIC	-86.76	-91.25

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Organizado por SOUSA, R.V.B.

Os resultados observados na (Tabela 21) indicam que os dois modelos possuem bons ajustes, porém o modelo 2 é o que melhor se ajusta ao Cenário 2, pois possui maiores valores de R^2, R^2 ajustado, estatística F e menor critério AIC.

Vale destacar que, ao se analisar as tabelas de cada modelo, (Tabela 19) e (Tabela 20), os parâmetros e as estatísticas das variáveis referentes à precipitação apresentam pequena diferença. Dessa maneira, apesar de o modelo com melhor ajuste, isto é, o modelo 2, conter a variável precipitação acumulada dos últimos dois dias – X4B, ao invés da variável precipitação acumulada dos últimos sete dias – X4G, esta possui comportamento pouco diferente daquela.

No que concerne ao teste t, constata-se que o β das variáveis X1H e X4B são significativamente diferentes de 0, ou seja, denotam significâncias na medida em que o valor t é maior que tc. Entretanto, o valor t referente ao β da variável X4B mostra-se, aproximadamente, 3 vezes superior ao valor t referente ao β da variável X1H. Conclui-se, assim, que a variável X4B se ajusta melhor à variável resposta no Cenário 2.

A regressão linear múltipla do modelo referente ao Cenário 1 ficou da seguinte forma (Equação 46):

$$Y = 0.285058\ X1H + 0.756791\ X4B + 0.007636 \quad (46)$$

Analisando-se o *β* das varáveis explicativas, observa-se que, quando há aumento, tanto dos valores da variável cota altimétrica da UHE Capivara defasada em 7 dias – X1H como dos valores da variável precipitação acumulada dos últimos 2 dias – X4B, os valores da variável resposta também aumentam.

Os resultados apontam que o aumento do nível do reservatório da UHE Capivara inicia-se 7 dias antes do aumento do nível do Rio Tibagi. Um dos motivos para isso ocorrer talvez seja o volume de chuvas de toda a Bacia Hidrográfica do Paranapanema. Outro motivo diz respeito ao fato da variabilidade do nível do reservatório ser decorrente, também, do regime de operação da barragem e não somente do regime de chuvas, sendo, portanto, difícil de precisar o principal motivo.

O conjunto dos resultados demonstra que a chuva acumulada dos últimos 2 dias influencia o aumento do nível do Rio Tibagi; enquanto o acúmulo da precipitação de mais dias parece influenciar o aumento do nível do reservatório de Capivara.

Tendo em vista que, no Cenário 2, metade dos dados hidrométricos diz respeito a datas com inundação e a outra metade diz respeito a datas sem inundação, procurou-se aplicar uma regressão logística, no modelo de melhor ajuste do referido cenário, a fim de verificar qual variável influencia mais os episódios de inundação. Todavia, não se obteve êxito com a regressão logística.

Cenário 3

Para o cenário 3, os betas que denotaram melhores p-valor estão relacionados às variáveis X4B e X9E. Todavia, as estatísticas do modelo mostraram-se ruins, especialmente o R^2 e o R^2 ajustado. Nesse sentido, nenhum modelo foi determinado para este cenário. Além disso, soma-se o fato deste cenário trabalhar unicamente com dados hidrométricos referentes aos episódios de inundação, sem mesclar dados referentes a datas em que a cota altimétrica do Rio Tibagi estava abaixo do nível de margens plenas, fato que poderia gerar uma análise tendenciosa. Os resultados da regressão múltipla podem ser evidenciados na (Tabela 22).

Tabela 22. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo do Cenário 3.

```
Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.31214 -0.73784  0.00853  0.51825  2.72724

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 6.199e-14  1.518e-01   0.000   1.0000
X4B         3.787e-01  1.586e-01   2.388   0.0228 *
X9E         3.783e-01  1.586e-01   2.385   0.0230 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.9109 on 33 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2177,   Adjusted R-squared:  0.1703
F-statistic: 4.592 on 2 and 33 DF,  p-value: 0.0174
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error: Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística.

Acerca das análises estatísticas feitas até o momento, destaca-se que tanto no cenário 1, quanto no cenário 2, são utilizadas variáveis aleatórias, quando não na totalidade da população, pelo menos em parte desta. O fato em se utilizar variáveis hidrométricas aleatórias, mistura dados de meses, anos e períodos sazonais distintos, o que do ponto de vista hidrológico pode gerar um ruído nos resultados, principalmente se for levado em consideração que a quantidade de datas que dizem respeito ao transbordamento do Rio Tibagi, representa somente 0.32% da população dos dados hidrométricos analisados, especificamente, 36 episódios de inundação, contra 11251 datas sem inundação.

Nesse sentido, optou-se por analisar os dados em um quarto cenário – Cenário 4. Neste, foram agrupados os dados hidrométricos dos dias referentes ao hidrograma de cada episódio de inundação.

Cenário 4.

As variáveis explicativas que formam o modelo do cenário 4 são cota altimétrica da UHE Capivara no mesmo dia do registro da cota altimétrica na EF Jataizinho - X1 e precipitação acumulada dos últimos 2 dias – X4B; enquanto a variável resposta é a cota altimétrica do Rio Tibagi na EF Jataizinho – 64507000.

Os parâmetros e os dados estatísticos referentes ao modelo do cenário 4 podem ser observados na (Tabela 23). O *script* dos testes efetuados no *software* R pode ser observado no (ANEXO 4).

Tabela 23. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo do Cenário 4.

```
Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.70507 -0.48962  0.09917  0.48829  1.70852

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 2.328e-13  6.873e-02   0.000        1
X1          3.941e-01  6.963e-02   5.659 1.64e-07 ***
X4B         5.820e-01  6.963e-02   8.358 5.64e-13 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.6769 on 94 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5513,   Adjusted R-squared:  0.5418
F-statistic: 57.76 on 2 and 94 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error = Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística.

Analisando a (Tabela 23), observa-se que o p-valor do *β* das variáveis preditoras são significativos, com valores de 1.64e-07 para a variável X1 e de 5.64e-13 para a variável X4B, rejeitando-se, destarte, a hipótese do *β* ser zero.

No que concerne ao teste t, constata-se que o *β* das variáveis X1 e X4B são significativamente diferentes de 0, ou seja, denotam significâncias na medida em que o valor t é maior que tc. Entretanto, o valor t referente ao *β* da variável X4B mostra-se 1.48 vezes superior ao valor t referente ao *β* da variável X1. Conclui-se, assim, que, a variável X4B se ajusta melhor à variável resposta no cenário 4.

Todavia, ao se comparar todos os cenários analisados, exceto o cenário 3 em que o modelo se mostrou ruim, constata-se que a diferença do valor t entre as variáveis que constituíram cada modelo é menor no cenário 4. Esta diferença foi de 1.92 no cenário 1, aproximadamente 3 no cenário 2 e 1.48 no cenário 4. Assim, a variável referente ao nível do reservatório apresenta melhora no ajuste com a variável resposta no cenário 4, sendo esta uma informação relevante.

A regressão linear múltipla do modelo referente ao cenário 4 ficou da seguinte forma (Equação 47):

$$Y = 3.941e\text{-}01\ X1 + 5.820e\text{-}01\ X4B + 2.328e\text{-}13 \quad (47)$$

Analisando-se o *β* das varáveis explicativas, observa-se que, quando há aumento, tanto dos valores da cota altimétrica da UHE Capivara no mesmo dia

do registro da cota altimétrica na EF Jataizinho - X1 como da precipitação acumulada dos últimos 2 dias – X4B, os valores da variável resposta também aumentam.

No cômputo geral, ao se analisar os modelos de todos os cenários, verifica-se que a variável precipitação se ajusta melhor à variável resposta, ou seja, à cota altimétrica da EF Jataizinho – 64457000.

Observa-se também comportamento igual para o β das variáveis explicativas, apontando sempre para um mesmo padrão de comportamento das variáveis do modelo, qual seja, na medida em que as variáveis independentes aumentam, a variável resposta também aumenta. Nesse sentido, a precipitação mostra-se como principal variável para o aumento dos níveis, tanto do Rio Tibagi como do reservatório da UHE Capivara.

Entretanto, devido a fato de o Rio Tibagi e o reservatório de Capivara apresentarem regimes distintos, denotando este um regime permanente e aquele um regime não permanente; a variável precipitação talvez camufle a influência do regime de operação da UHE Capivara nas inundações do Rio Tibagi, na cidade de Jataizinho. Os resultados obtidos pelas regressões múltiplas, porém, atestam um ponto positivo, qual seja: caso exista alguma influência do regime de operação da barragem nas inundações na cidade de Jataizinho, esta aparentemente é pontual, difícil de ser detectada por modelos matemáticos, principalmente com base em dados hidrométricos em escala diária. A redução da escala temporal dos dados talvez pudesse refinar mais a análise estatística, contudo, dados hidrológicos disponíveis com séries temporais em escala horária existem somente para anos recentes.

Devido a isso, optou-se por mais uma estratégia, a fim de verificar se há ou não influência do regime de operação da UHE Capivara para as inundações de Jataizinho, agora considerando que esta influência é pontual. Essa estratégia se baseou na análise dos hidrogramas dos episódios de inundação.

5.6.2 Hidrogramas dos episódios de inundação do Rio Tibagi.

5.6.2.1 Análise geral dos hidrogramas.

Ao todo, foram analisados 14 hidrogramas referentes aos episódios de inundação do Rio Tibagi, distribuídos nos anos de 1983, 1987, 1989, 1990, 1995, 1997, 1998, 2003 e 2016.

Do ponto de vista climático, vale salientar que dentre os anos em que foram analisados os hidrogramas de inundação, exceto em 1989, houve ocorrência da fase positiva do fenômeno *El Niño–Oscilação Sul (ENOS)*, ou seja, ocorrência do fenômeno *El-Niño.*

Assim, com base nas considerações feitas na seção 5.3, as intensidades do fenômeno *El Niño* nos anos referentes aos hidrogramas de inundação foram: 1983 (forte), 1987 (moderada), 1990 (forte), 1995 (moderada), 1997-1998 (forte), 2003 (moderada) e para o ano de 2016, conforme Candido *et al.* (2015), a intensidade do fenômeno *El Niño* 2015-2016 foi forte.

Os hidrogramas dos episódios de inundação concentram-se, principalmente, no período de cheia, entre outubro e fevereiro, sendo janeiro o mês que detém a maior quantidade de hidrogramas, cinco ao todo. Também são verificados hidrogramas de inundação referentes ao período de vazante, nos meses de maio – um hidrograma, junho – dois hidrogramas e setembro dois hidrogramas, embora, setembro é considerado um mês de transição entre os períodos de cheia e vazante. A separação dos hidrogramas por meses de ocorrência pode ser observada na (Quadro 14).

Quadro 14. Hidrogramas analisados, separados por períodos de cheia e vazante.

Ordem	Meses de ocorrência do hidrograma	Período do hidrograma	Data da vazão de pico do hidrograma	Regime do Rio Tibagi
1	Janeiro	09/01/1990 a 30/01/1990	11/01/1990	Cheia
2	Janeiro	08/01/1995 a 18/01/1995	12/01/1995	Cheia
3	Janeiro	20/01/1997 a 31/01/1997	23/01/1997	Cheia
4	Janeiro	26/01/2003 a 04/02/2003	28/01/2003	Cheia
5	Janeiro	10/01/2016 a 16/01/2016	12/01/2016	Cheia
6	Fevereiro	01/02/1997 a 09/02/1997	03/02/1997	Cheia
7	Outubro	05/10/1998 a 13/10/1998	08/10/1998	Cheia
8	Dezembro	26/12/1989 a 06/01/1990	30/12/1989	Cheia
9	Maio	27/05/1983 a 04/06/1983	31/05/1983	Vazante
10	Maio	14/05/1987 a 13/06/1987	22/05/1987	Vazante
11	Junho	04/06/1983 a 09/06/1983	07/06/1983	Vazante
12	Junho	09/06/1983 a 14/06/1983	12/06/1983	Vazante
13	Setembro	16/09/1983 a 23/09/1983	19/09/1983	Vazante/Cheia
14	Setembro	27/09/1998 a 04/10/1998	29/09/1998	Vazante/Cheia

Organizado por: SOUSA, R. V. B.

Dados gerais acerca da análise dos hidrogramas de inundação do período de cheia podem ser averiguados na (Tabela 24).

Tabela 24. Dados hidrológicos acerca dos hidrogramas de inundação do período de cheia do Rio Tibagi.

Ordem	Mês de ocorrência da inundação	Período do hidrograma	Data da vazão de pico	Regime do Rio Tibagi	Contribuição para Qobsi	QobsiTotal (m3/s)	Qsi total (m3/s)	Qbi total (m3/s)	Contribuição de Qsi para Qobsi (%)	Contribuição de Qbi para Qobsi (%)
1	Janeiro	09/01/1990a 30/01/1990	11/01/1990	Cheia	Qsi<Qbi	20 433	8 136	12 297	40	60
2	Janeiro	08/01/1995 a 18/01/1995	12/01/1995	Cheia	Qsi<Qbi, mas, Qsi≈Qbi	20 401	9 803	10 598	48	52
3	Janeiro	20/01/1997 a 31/01/1997	23/01/1997	Cheia	Qsi<Qbi, mas, Qsi≈Qbi	15 600	7 470	8 130	48	52
4	Janeiro	26/01/2003 a 04/02/2003	28/01/2003	Cheia	Qsi<Qbi, mas, Qsi≈Qbi	19 393	9 577	9 816	49	51
5	Janeiro	10/01/2016 a 16/01/2016	12/01/2016	Cheia	Qsi>Qbi, mas, Qsi≈Qbi	17 693	8 942	8 751	51	49
6	Fevereiro	01/02/1997 a 09/02/1997	03/02/1997	Cheia	Qsi<Qbi	15 028	4 428	10 600	29	71
7	Outubro	05/10/1998 a 13/10/1998	08/10/1998	Cheia	Qsi<Qbi	37 872	9 007	28 865	24	76
8	Dezembro	26/12/1989 a 06/01/1990	30/12/1989	Cheia	Qsi<Qbi	12 394	5 989	6 405	48	52
Média						19 852	7 919	11 933	42	58
Mediana						18 543	8 539	10 207	48	52
Máxima						37 872	9 803	28 865	51	76
Mínima						12 394	4 428	6 405	24	49
SD						7 812	1 878	7 071	10	10
CV						39	24	59	24	18

Continuação da Tabela 24.

Ordem	Comportamento de Qobsi após início de Qsi	Comportamento de Qobsi na curva de depleção de escoamento superficial	Vazão de pico (m3/s)	t1*	t2**	Precipitação máxima (dia)	Precipitação máxima (mm)	Precipitação acumulada até vazão de pico (mm)	Precipitação total até a vazão de pico (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Precipitação efetiva (%)	Coeficiente de runoff (C)	Volume total precipitado (m^3)	Volume total escoado (m^3)
1	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo e mais lento da vazão.	4 500	2	4	1	56	92	122	32	26	0.262	2 681 141 183	702 973 751
2	Aumento gradativo da vazão, a partir do segundo dia.	Rebaixamento gradativo da vazão.	3 560	4	3	4	40	62	174	39	22	0.222	3 813 849 798	846 979 200
3	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento rápido da vazão.	5 423	3	2	1	76	95	174	29	17	0.169	3 806 386 448	645 424 108
4	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo da vazão.	7 335	2	2	1	75	106	126	38	30	0.299	2 760 280 050	827 483 157
5	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo da vazão.	6 814	2	2	1	32	59	85	35	41	0.413	1 872 659 145	772 589 045
6	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo e mais lento da vazão.	15 028	2	3	0	42	59	70	17	24	0.248	1 543 247 100	382 553 788
7	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo da vazão.	8 570	3	2	1	47	67	104	36	35	0.343	2 270 419 397	778 226 400
8	Aumento rápido da vazão.	Rebaixamento gradativo da vazão.	4 785	2	2	1	73	78	150	24	16	0.158	3 281 201 196	517 449 600
Média			8 345	3	3	1	55	77	126	45	35	0.347	2 753 648 039	977 752 180
Mediana			7 733	2	2	1	52	73	124	36	33	0.321	2 720 710 616	775 407 723
Máxima			15 028	4	4	4	76	106	174	94	54	0.543	3 813 849 798	2 070 519 189
Mínima			4 500	2	2	0	32	59	70	17	17	0.169	1 543 247 100	382 553 788
SD			3 344	1	1	1	18	18	39	26	13	0.129	844 361 235	570 761 886
CV			40	30	30	93	32	24	31	58	38	37	31	58

Qobsi: Vazão observada. Qsi: Escoamento superficial direto. Qbi: Fluxo de base. (*)t1: Tempo decorrente entre o início de Qsi e a vazão de pico (dias). (**)t2: Tempo decorrente entre a vazão de pico e o fim da curva de depleção do escoamento superficial (dias). (***) Precipitação máxima (dia): Momento em que ocorreu a precipitação máxima (0 = no dia da vazão de pico; 1 = um dia antes; 2 = dois dias antes e assim sucessivamente). Organizado por: SOUSA, R.V.B.

Todos os hidrogramas que visivelmente apresentam anomalias concentram-se no período de cheia do Rio Tibagi. Nesse sentido, os hidrogramas que apresentam anomalias são 2, 3, 5 e 8. Entretanto, após a análise dos dados hidrométricos da UHE Capivara em conjunto com os dados hidrométricos dos hidrogramas, não foram todos os hidrogramas que demonstraram haver influência do regime de operação da UHE Capivara para as ocorrências das anomalias.

Analisando-se a (Tabela 24), verifica-se que os hidrogramas de inundação, no período de cheia, apresentam os seguintes valores médios. A vazão de pico é 8345 m^3/s. O tempo decorrente entre o início de escoamento superficial direto – Qsi e a vazão de pico – t1, são 3 dias. O tempo decorrente entre a vazão de pico e o fim da curva de depleção do escoamento superficial – t2, são 3 dias. A precipitação máxima tende a ocorrer 1 dia antes da vazão de pico. As precipitações máxima, acumulada e total são, respectivamente, 55 mm, 77 mm e 126 mm. A precipitação efetiva é 45 mm, o que equivale a 35% da precipitação total, logo, um coeficiente de runoff de 0.35. O volume total precipitado é 2 753 648 039 m^3; enquanto o volume total escoado é 977 752 180 m^3.

No que se refere às precipitações totais entre o início de Qsi e a vazão de pico, destaca-se que a precipitação total mínima é 70 mm e a precipitação total máxima é 174 mm. Portanto, é possível dizer que a partir de um total acumulado de 70 mm de chuva na Bacia Hidrográfica do Tibagi, em uma média de 3 dias, é possível ocorrer inundação na cidade de Jataizinho.

Observa-se, também, que, a maioria dos hidrogramas apresenta, como comportamento habitual: a) aumento gradativo da vazão observada - Qobsi, entre o início de Qsi e a vazão de pico e b) rebaixamento gradativo da vazão observada entre a vazão de pico e o término da curva de depleção do escoamento superficial. Mudanças nesse comportamento estão relacionadas, principalmente, aos hidrogramas com anomalia.

Quanto à variação da vazão observada, entre o início de Qsi e o término da curva de depleção do escoamento superficial, constata-se que, em média, 42% da vazão observada advém do escoamento superficial direto – Qsi; enquanto 58% da vazão observada advém do fluxo de base – Qbi. Assim, verifica-se a importância do fluxo de base para a manutenção da vazão observada, mesmo no período de cheia. É necessário, porém, destacar que esta análise diz respeito a alguns hidrogramas de inundação e não a um ano hidrológico em específico, a toda

série de dados ou a períodos hidrológicos, cenários estes que talvez suscitem resultados e comportamentos distintos.

A respeito dos dados gerais acerca da analise dos hidrogramas de inundação do período de vazante, estes podem ser averiguados na (Tabela 25).

Tabela 25. Dados hidrológicos acerca dos hidrogramas de inundação do período de vazante do Rio Tibagi.

Ordem	Mês de ocorrência da inundação	Período do hidrograma	Data da vazão de pico	Regime do Rio Tibagi	Contribuição para Qobsi	QobsiTotal (m3/s)	Qsi total (m3/s)	Qbi total (m3/s)	Contribuição de Qsi para Qobsi (%)	Contribuição de Qbi para Qosi (%)
9	Maio	27/05/1983 a 04/06/1983	31/05/1983	Vazante	Qsi<Qbi	26 331	9 758	16 573	37	63
10	Maio	14/05/1987 a 13/06/1987	22/05/1987	Vazante	Qsi<Qbi	24 913	10 712	14 201	43	57
11	Junho	04/06/1983 a 09/06/1983	07/06/1983	Vazante	Qsi<Qbi	19 146	3 397	15 749	18	82
12	Junho	09/06/1983 a 14/06/1983	12/06/1983	Vazante	Qsi<Qbi	21 523	3 917	17 606	18	82
13	Setembro	16/09/1983 a 23/09/1983	19/09/1983	Vazante/Cheia	Qsi>Qbi, mas, Qsi≈Qbi	13 965	7 466	6 499	53	47
14	Setembro	27/09/1998 a 04/10/1998	29/09/1998	Vazante/Cheia	Qsi<Qbi	29 199	11 148	18 051	38	62
Média						22 513	7 733	14 780	35	66
Mediana						23 218	8 612	16 161	38	63
Máxima						29 199	11 148	18 051	53	82
Mínima						13 965	3 397	6 499	18	47
SD						5 485	3 408	4 284	14	14
CV						24	44	29	41	21

Continuação da Tabela 25.

Ordem	Comportamento de Qobsi após início de Qsi	Comportamento de Qobsi na curva de depleção de escoamento superficial	Vazão de pico (m3/s)	t1*	t2**	Precipitação máxima (dia)***	Precipitação máxima (mm)	Precipitação acumulada até vazão de pico (mm)	Precipitação total até a vazão de pico (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Precipitação efetiva (%)	Coeficiente de runoff (C)	Volume total precipitado (m3)	Volume total escoado (m3)
9	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo.	4 906	4	3	3	56	70	149	38	26	0.258	3 272 326 100	843 111 980
10	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo.	3 313	8	4	2	50	75	188	42	22	0.225	4 116 198 626	925 507 984
11	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo.	4 255	3	2	1	38	61	82	13	16	0.162	1 806 220 785	293 500 800
12	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo.	4 152	3	2	3	53	42	109	15	14	0.141	2 398 050 288	338 465 829
13	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo e mais lento da vazão.	3 506	3	4	1	69	97	132	29	30	0.223	2 887 152 816	645 053 948
14	Aumento gradativo da vazão.	Rebaixamento gradativo e mais lento da vazão.	7 707	2	3	0	52	89	111	44	40	0.397	2 429 072 409	963 167 003
Média			4 640	4	3	2	53	72	129	30	25	0.234	2 818 170 171	668 134 590
Mediana			4 204	3	3	2	53	73	122	34	24	0.224	2 658 112 613	744 082 964
Máxima			7 707	8	4	3	69	97	188	44	40	0.397	4 116 198 626	963 167 003
Mínima			3 313	2	2	0	38	42	82	13	14	0.141	1 806 220 785	293 500 800
SD			1 607	2	1	1	10	20	37	14	10	0.090	805 957 000	294 437 416
CV			35	56	30	73	19	27	29	45	39	39	29	44

Qobsi: Vazão observada. Qsi: Escoamento superficial direto. Qbi: Fluxo de base. (*)t1: Tempo decorrente entre o início de Qsi e a vazão de pico (dias). (**)t2: Tempo decorrente entre a vazão de pico e o fim da curva de depleção do escoamento superficial (dias). (***)Precipitação máxima (dia): Momento em que ocorreu a precipitação máxima (0 = no dia da vazão de pico; 1 = um dia antes; 2 = dois dias antes e assim sucessivamente).
Organizado por: SOUSA, R.V.B.

Analisando-se a (Tabela 25), verifica-se que os hidrogramas de inundação, no período de vazante, apresentam os seguintes valores médios. A vazão de pico é 4640 m^3/s. O tempo decorrente entre o início de escoamento superficial direto – Qsi e a vazão de pico – t1 são 4 dias. O tempo decorrente entre a vazão de pico e o fim da curva de depleção do escoamento superficial – t2 são 3 dias. A precipitação máxima tende a ocorrer 2 dias antes da vazão de pico. As precipitações máxima, acumulada e total são, respectivamente, 53 mm, 72 mm e 129 mm. A precipitação efetiva é 30 mm, o que equivale a 25% da precipitação total, logo, um coeficiente de runoff de 0.234. O volume total precipitado é 2 818 170 171 m^3; enquanto o volume total escoado é 668 134 590 m^3.

No que se refere às precipitações totais entre o início de Qsi e a vazão de pico, destaca-se que a precipitação total mínima é 82 mm; enquanto a precipitação total máxima é 188 mm. É possível, portanto, dizer que, a partir de um total acumulado de 82 mm de chuva na Bacia Hidrográfica do Tibagi em uma média de 4 dias, pode ocorrer inundação na cidade de Jataizinho.

Observa-se que, a maioria dos hidrogramas apresenta, como comportamento habitual, aumento gradativo da vazão observada - Qobsi, entre o início de Qsi e a vazão de pico; e rebaixamento gradativo da vazão observada entre a vazão de pico e o término da curva de depleção do escoamento superficial.

Quanto à variação da vazão observada, entre o início de Qsi e o término da curva de depleção do escoamento superficial, constata-se que em média 35% da vazão observada advém do escoamento superficial direto – Qsi; enquanto 66% da vazão observada advém do fluxo de base – Qbi. Verifica-se a importância do fluxo de base para a manutenção da vazão observada no período de vazante. Porém, assim como no caso anterior, destaca-se que esta análise diz respeito a alguns hidrogramas de inundação e não a um ano hidrológico em específico, ou a toda a série de dados ou a um período hidrológico, cenários estes que talvez suscitem resultados e comportamentos distintos.

Comparando-se as características gerais dos hidrogramas dos dois períodos, isto é, cheia e vazante, alguns apontamentos podem ser feitos:

- A contribuição do fluxo de base – Qbi é maior em detrimento do escoamento superficial direto – Qsi, para a existência da vazão observada, de modo que este processo é mais evidente no período de vazante.

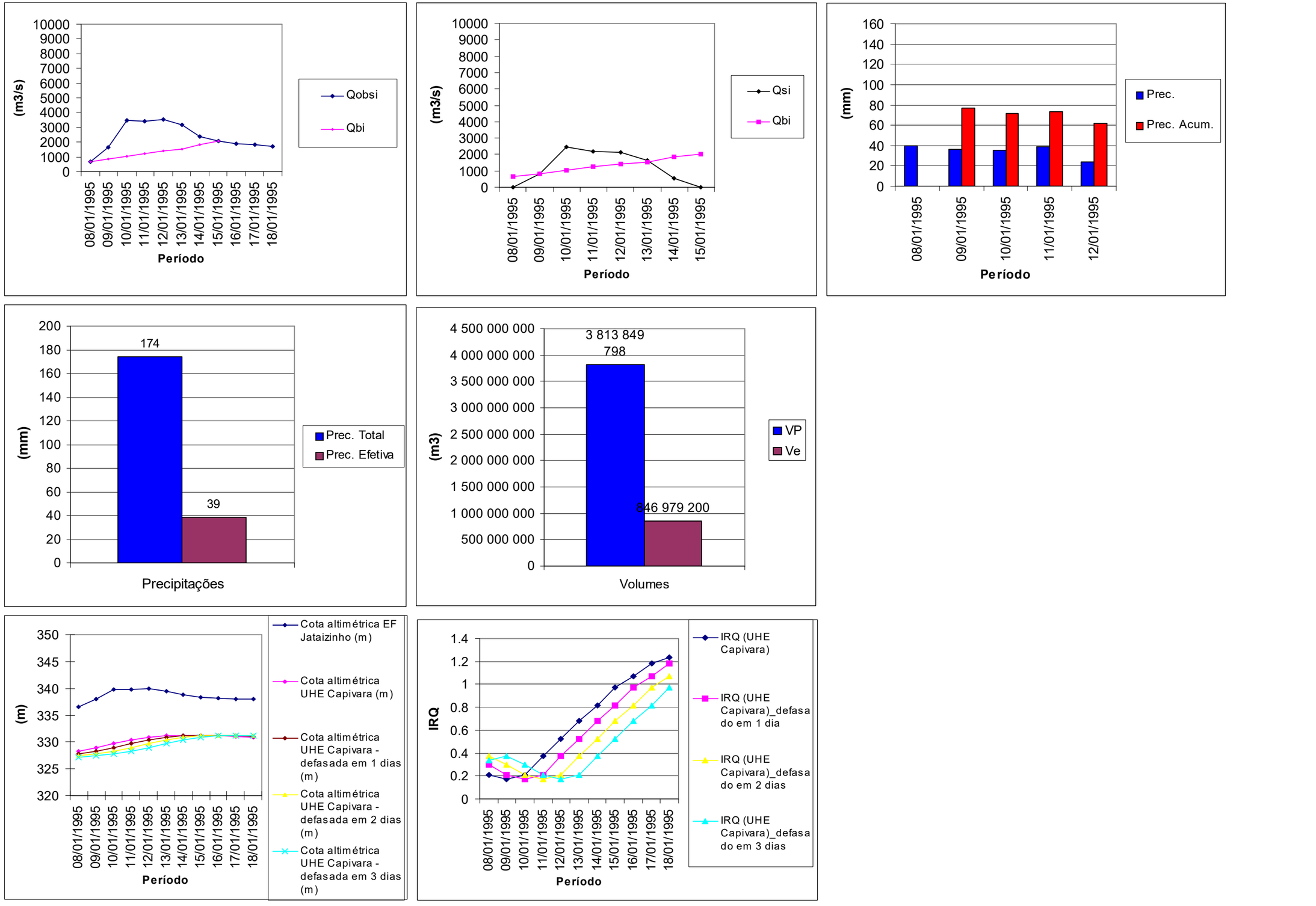
- A média da vazão de pico no período de cheia mostra-se 34% superior em relação ao período de vazante.
- O tempo médio decorrente entre o início de escoamento superficial direto – Qsi – e a vazão de pico – t1 – no período de cheia são 3 dias; enquanto no período de vazante são 4 dias. Isso demonstra que o tempo para se atingir a vazão de pico é menor no período de cheia, na medida em que esse processo está relacionado ao grau de saturação do solo, consequentemente, ao escoamento superficial.
- A precipitação máxima, no período de cheia, tende a ocorrer 1 dia antes da vazão de pico; enquanto no período de vazante tende a ocorrer 2 dias antes da vazão de pico.
- As precipitações máxima, acumulada e total apresentam valores aproximados, sendo as duas primeiras superiores no período de cheia; já a última é 3 mm superior no período de vazante.
- O volume precipitado total – Vp mostra-se um pouco maior no período de vazante, embora o volume escoado – Ve e o escoamento superficial direto – Qsi tenham-se mostrado um pouco maiores no período de cheia.

A seguir serão apresentadas as análises dos hidrogramas de inundação que denotaram anomalias.

5.6.2.2 Análise pontual dos hidrogramas de inundação com anomalia.

Na sequência serão apresentados os gráficos referentes a cada hidrograma com anomalia e os demais dados hidrométricos analisados em conjunto com os hidrogramas, como: cota altimétrica do Rio Tibagi na estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, cota altimétrica do reservatório de Capivara e o Índice de Razão de Vazão - IRQ da UHE Capivara. O conjunto dos gráficos que compõem os hidrogramas pode ser observado na (Figura 66), na (Figura 67), na (Figura 68) e na (Figura 69).

Figura 66. Hidrograma 2. Período: 08/01/1995 a 18/01/1995. Vazão de pico em 12/01/1995.



Qobsi: Vazão observada. Qbi: Fluxo de base. Qsi: Escoamento superficial direto. Prec: Precipitação. Acum: Acumulada. VP: Volume total precipitado. Ve: Volume escoado. IRQ: Índice de Razão de Vazão. Obs: A precipitação acumulada é em 24 h. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Visualmente, o hidrograma apresenta anomalia, pois, analisando os dois dias anteriores à vazão de pico em 12/01/1995, observa-se que, entre o dia 10/01 e 11/01/1995, há redução da vazão observada, porém, entre 11/01 e 12/01/1995, há novamente aumento da vazão observada, alcançando, então, a vazão de pico. Devido a isso, entre 10/01 e 12/01 /1995, visualiza-se um achatamento no hidrograma, destacando que este intervalo de tempo equivale a 3 dias.

Para além do início do escoamento superficial direto - Qsi, chegando à vazão de pico e passando ao término da curva de depleção do escoamento superficial, verifica-se que há contribuição, tanto do escoamento superficial direto como do fluxo de base - Qbi, para a variação da vazão.

Em termos quantitativos, do total da vazão observada – Qobsi até o término da curva de depleção do escoamento superficial – 20401 m^3/s –, 52% equivale ao fluxo de base – Qbi –, com 10598 m^3/s, e 48% equivale ao escoamento superficial direto, igual a 9803 m^3/s. Logo, a contribuição do fluxo de base é maior em detrimento do escoamento superficial direto, para a existência da vazão observada neste trecho do hidrograma. Deve-se frisar, no entanto, que as contribuições de Qsi e Qbi apresentam valores aproximados.

Verifica-se que do início do escoamento superficial direto até a vazão de pico, o intervalo de tempo é de 4 dias; enquanto da vazão de pico até o término da curva de depleção do escoamento superficial, há um período de tempo de 3 dias.

Ao se iniciar o escoamento superficial direto, observa-se um aumento gradativo da vazão a partir do segundo dia até a vazão de pico. Da mesma forma, ao se observar a curva de depleção, verifica-se um rebaixamento gradativo da vazão.

A precipitação máxima – 40 mm – ocorre no primeiro dia em que se inicia o escoamento superficial direto, ou seja, quatro dias antes da vazão de pico – 3560 m^3/s. A precipitação total até a vazão de pico é 174 mm; e a precipitação acumulada até a vazão de pico é 62 mm.

Do total precipitado até a vazão de pico, ou seja, 174 mm, a precipitação efetiva para a vazão observada – Qobsi até o fim da curva de depleção do escoamento superficial é 39 mm, o que equivale a 16% da precipitação total.

Embora os dados hidrológicos apontem que houve transbordamento do Rio Tibagi, não há registro de ocorrência de inundação pela Defesa Civil para este episódio de inundação.

Observando-se os dados de cota altimétrica da EF Jataizinho e da UHE Capivara, nota-se que há tendência de aumento do nível do Rio Tibagi entre 08/01/1995 e 12/01/1995, dia em que se verifica a vazão de pico. Este mesmo comportamento é verificado para o nível do reservatório e para a vazão observada da EF Jataizinho – Qobsi.

Analisando-se as cotas altimétricas defasadas do reservatório de Capivara, nota-se a mesma tendência de aumento até 12/01/1995. Entretanto, a partir do dia 13/01/1995 observa-se redução da cota altimétrica e da vazão do Rio Tibagi, ainda que se verifique aumento do nível do reservatório até o dia 14/01/1995, ou seja, até dois dias depois da vazão de pico do hidrograma, de modo que somente na sequência ocorre estabilização do nível do reservatório.

Quanto ao Índice de Razão de Vazão – IRQ referente ao reservatório de Capivara, verifica-se que, a partir do dia 10/01/1995, a vazão jusante do reservatório passa a aumentar gradativamente em relação à vazão montante do reservatório, de maneira que apenas no dia 16/01/1995 – um dia após o término da curva de depleção do escoamento superficial e quatro dias depois da vazão de pico do hidrograma – a vazão jusante do reservatório passa a ser superior à vazão montante deste. Assim, este processo indica que, enquanto o nível do reservatório aumentava, paralelamente, maior volume d'água do reservatório era liberado de modo gradativo.

A análise dos dados hidrométricos da UHE Capivara, em conjunto com os demais dados hidrométricos do hidrograma, aponta que o regime de operação da UHE Capivara não possui relação com a anomalia observada no hidrograma.

Desse modo, a anomalia visual observada no hidrograma entre 10/01/1995 e 12/01/1995 parece ter sido ocasionada pelo fluxo de base, na medida em que neste intervalo de tempo observa-se redução do escoamento superficial

direto e aumento do fluxo de base. A anomalia possui relação com a chuva e com a infiltração da água no solo, portanto um comportamento natural.

Figura 67. Hidrograma 3. Período: 20/01/1997 a 31/01/1997. Vazão de pico: 23/01/1997.



Qobsi: Vazão observada. Qbi: Fluxo de base. Qsi: Escoamento superficial direto. Prec: Precipitação. Acum: Acumulada. VP: Volume total precipitado. Ve: Volume escoado. IRQ: Índice de Razão de Vazão. Obs: A precipitação acumulada é em 24 h. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Para além do início do escoamento superficial direto – Qsi, chegando à vazão de pico e passando ao término da curva de depleção do escoamento superficial, verifica-se que houve contribuição do escoamento superficial direto e do fluxo de base – Qbi para a variação da vazão.

Em termos quantitativos, do total da vazão observada – Qobsi até o término da curva de depleção do escoamento superficial – 15600 m^3/s –, 52% equivale ao fluxo de base – Qbi –, com 8130 m^3/s, e 48% equivale ao escoamento superficial, equivalente a 7470 m^3/s. Nesse sentido, a contribuição do fluxo de base é maior em detrimento do escoamento superficial direto, para a existência da vazão observada neste trecho do hidrograma. Deve-se apontar, porém, que, as contribuições de Qsi e Qbi apresentam valores aproximados.

Ao se iniciar o escoamento superficial direto, nota-se aumento gradativo da vazão. Entretanto, ao se observar a curva de depleção do escoamento superficial, não se verifica um rebaixamento gradativo da vazão, ao contrário, verifica-se um rebaixamento rápido. Essa diferença é percebida, principalmente, no primeiro dia de rebaixamento da vazão, 2413 m3/s em relação à vazão de pico; enquanto, no segundo dia, a diferença de rebaixamento da vazão cai para 802 m3/s. Em termos percentuais, no primeiro dia de rebaixamento da vazão, houve redução de 44.5%; enquanto, no segundo dia de rebaixamento da vazão, houve redução de 26.6%.

Acerca da precipitação, a precipitação máxima – 76 mm – ocorre um dia antes da vazão de pico – 5423 m^3/s. A precipitação total até a vazão de pico é 174 mm; enquanto a precipitação acumulada até a vazão de pico é 95 mm.

Do total precipitado até a vazão de pico, ou seja, 174 mm, a precipitação efetiva para a vazão observada – Qobsi – até o fim da curva de depleção do escoamento superficial é 29 mm, o que equivale a 16.6% da precipitação total.

Comparando os dados de vazão observada – Qobsi – e de escoamento superficial direto – Qsi – do hidrograma, e os valores de IRQ da UHE Capivara, pode-se atestar que, entre o início escoamento superficial direto até a vazão de pico, há aumento gradativo do IRQ, porém sempre com valores abaixo de 1, o que indica que a vazão afluente do reservatório apresenta-se maior em relação à vazão defluente deste. Todavia, entre a data da vazão de pico e o dia subsequente a esta no hidrograma, 23/01/1997 e 24/01/1997, observa-se que o aumento do IRQ

deixa de ser gradual, denotando diferença de um dia para o outro, aproximadamente duas vezes mais quando comparado aos dias anteriores. Verifica-se, ainda, que somente no dia 24/01/1997 o IRQ passa a ser maior que 1, ou seja, a vazão defluente passa a ser maior que a vazão afluente do reservatório, demonstrando que houve rápida liberação de água a jusante da barragem.

Comparando a variação do IRQ, no intervalo de tempo entre 23/01/1997 e 24/01/1997, com a variação da vazão observada e da cota altimétrica do Rio Tibagi, nota-se que há grande relação entre a variação destas variáveis hidrométricas. Assim, pode-se dizer que a investigação feita até o presente momento, apresenta fortes indícios de que a anomalia observada no hidrograma 3, a qual corresponde ao rebaixamento rápido da vazão observada, entre a vazão de pico e o dia subsequente, tem relação com o regime de operação da UHE Capivara.

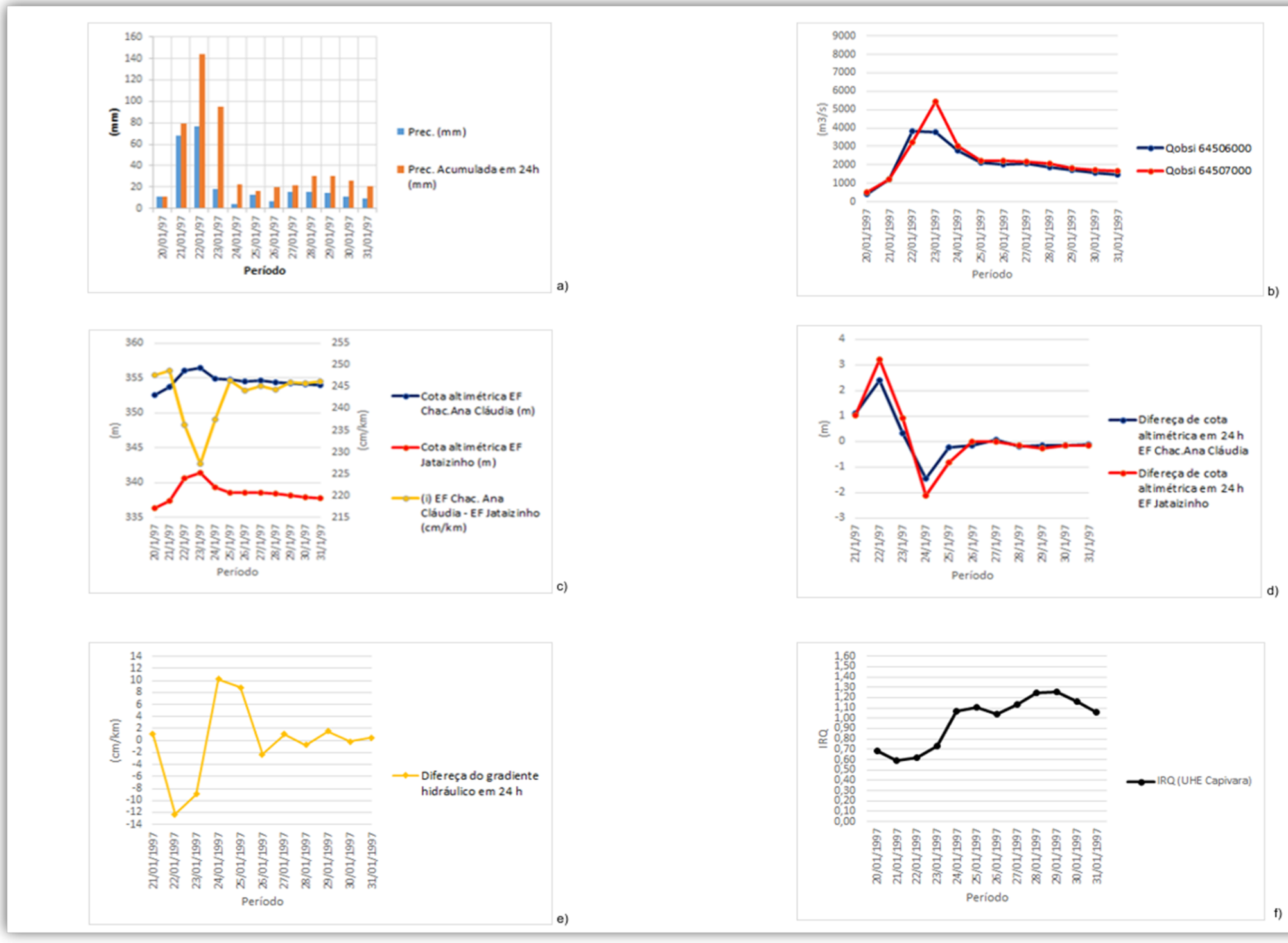
Acrescenta-se que, ao se levar em consideração o tamanho da Bacia Hidrográfica, não é comportamento habitual um rebaixamento tão acentuado da vazão observada – Qobsi – entre a vazão de pico e o dia subsequente. Anomalia desse tipo não foi verificada nos demais hidrogramas analisados.

Destaca-se que esse episódio de inundação foi registrado pela Defesa Civil. Também existe matéria de jornal que indica ter havido provável influência da UHE Capivara para a ocorrência de inundação em Jataizinho. Segundo informações divulgadas pela mídia e relatos de moradores, o nível do Rio Tibagi quase encobriu a ponte que liga Jataizinho à cidade vizinha, Ibiporã.

Com o intuito de aprofundar a investigação acerca da anomalia identificada no hidrograma 3, foram comparados dados hidrométricos da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 – e da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 – localizada 10.85 km a montante daquela. Para uma melhor interpretação dos dados, analisou-se conjuntamente: a) os dados de precipitação média diária e de precipitação acumulada em 24h sobre a bacia de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, b) os dados de vazão das duas estações fluviométricas, c) os dados de cota altimétrica do Rio Tibagi das duas estações fluviométricas, d) os dados de gradiente hidráulico entre as duas estações fluviométricas, e) a diferença de cota altimétrica em 24 h entre as duas estações fluviométricas, f) a diferença de gradiente hidráulico em 24 h entre as duas estações fluviométricas e g) os valores de IRQ da UHE Capivara.

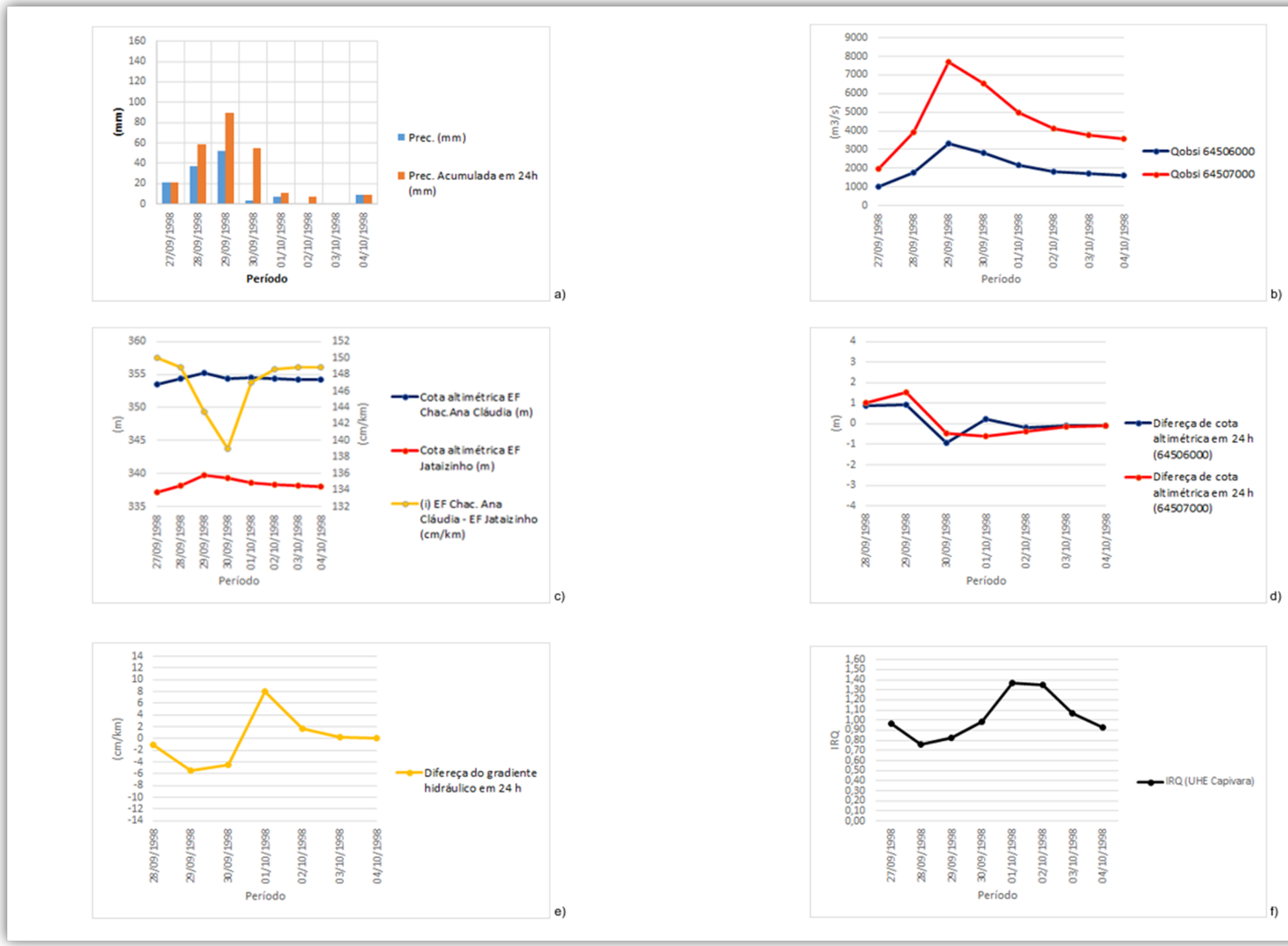
Os resultados apontam que durante os níveis mais altos do Rio Tibagi há uma tendência de redução do gradiente hidráulico, de modo que esse comportamento foi evidenciado em quase todos os hidrogramas analisados, a saber, hidrogramas 3, 7 e 14, exceto no hidrograma 4. Desataca-se que, não foi possível analisar o gradiente hidráulico em alguns hidrogramas devido à ausência de dados hidrométricos da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 6450600, quais sejam, os hidrogramas 2, 5, 6 e 8. Os resultados de gradiente hidráulico podem ser averiguados na (Figura 68), (Figura 69), (Figura 70) e (Figura 71).

Figura 68. Comparação entre os dados de precipitação, vazão, cota altimétrica, gradiente hidráulico e IRQ da UHE Capivara, referente ao período do hidrograma 3.



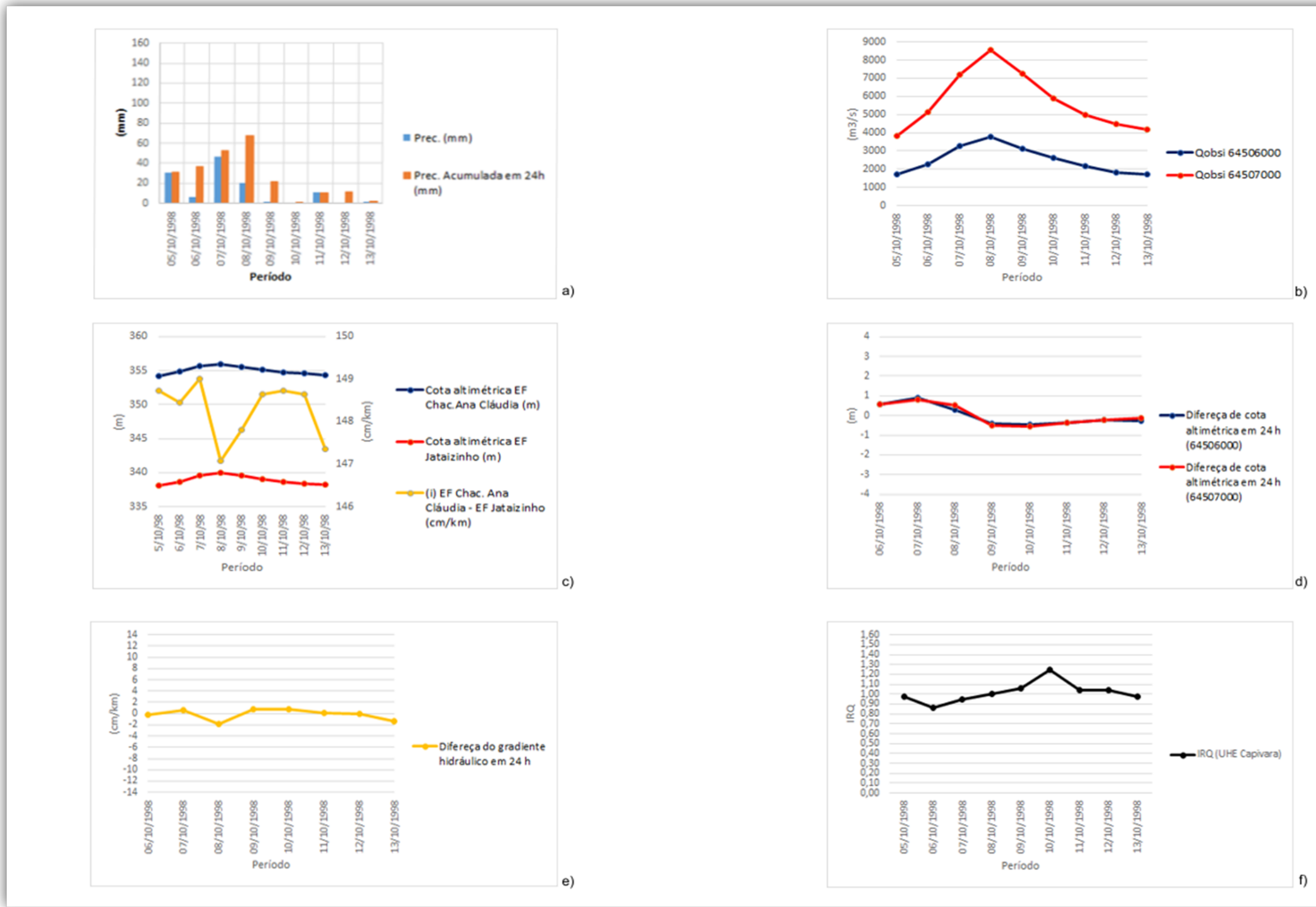
a) precipitação no dia d e precipitação acumulada em 24 h, b) vazão das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho, c) cotas altimétricas das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho e gradiente hidráulico entre estas EFs, d) diferença de cota altimétrica das EFs em 24 h, e) diferença do gradiente hidráulico em 24 h, f) IRQ da UHE Capivara. Prec: precipitação. i: gradiente hidráulico. EF: estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 69. Comparação entre os dados de precipitação, vazão, cota altimétrica, gradiente hidráulico e IRQ da UHE Capivara, referente ao período do hidrograma 14.



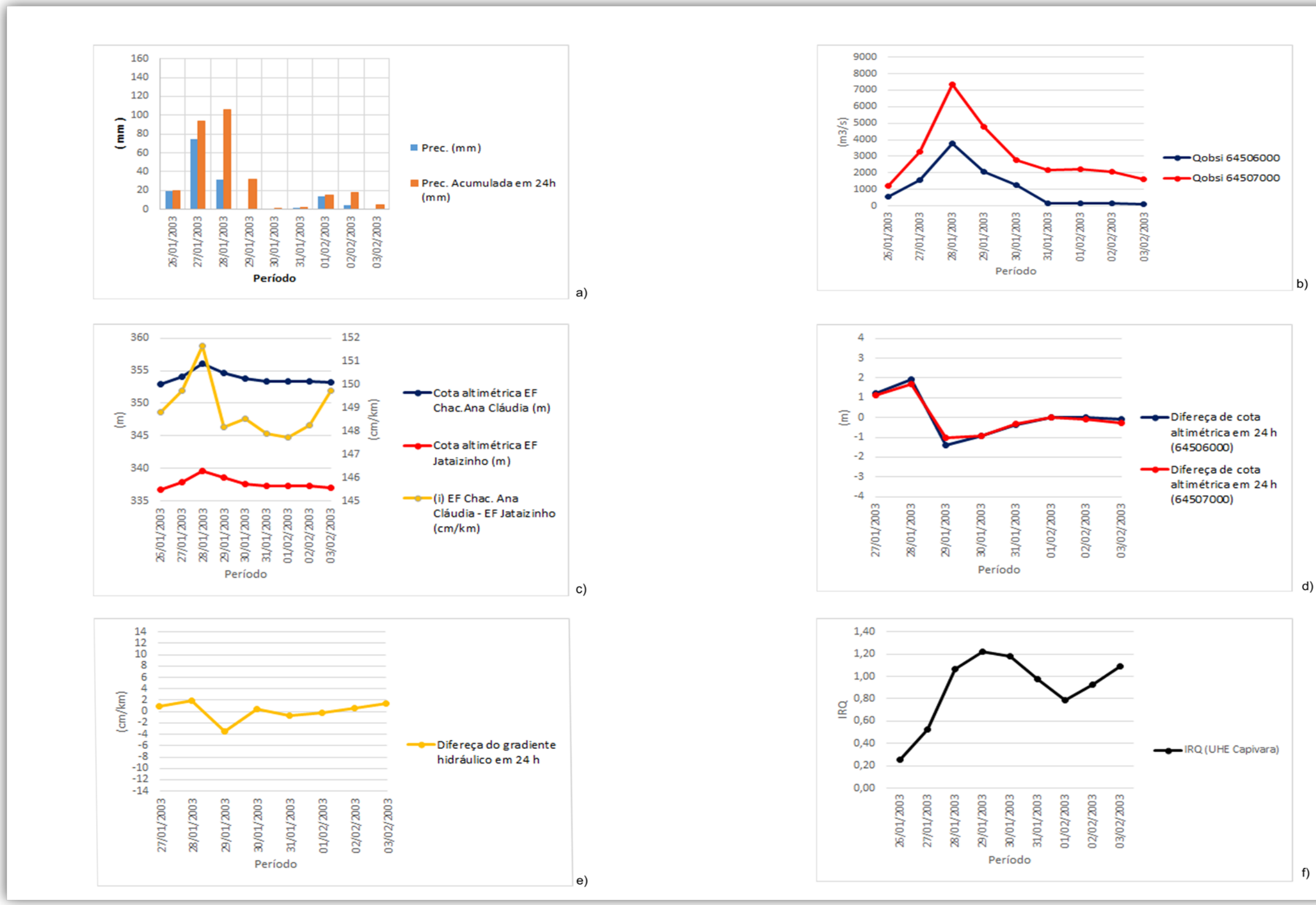
a) precipitação no dia d e precipitação acumulada em 24 h, b) vazão das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho, c) cotas altimétricas das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho e gradiente hidráulico entre estas EFs, d) diferença de cota altimétrica das EFs em 24 h, e) diferença do gradiente hidráulico em 24 h, f) IRQ da UHE Capivara. Prec: precipitação. i: gradiente hidráulico. EF: estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 70. Comparação entre os dados de precipitação, vazão, cota altimétrica, gradiente hidráulico e IRQ da UHE Capivara, referente ao período do hidrograma 7.



a) precipitação no dia d e precipitação acumulada em 24 h, b) vazão das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho, c) cotas altimétricas das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho e gradiente hidráulico entre estas EFs, d) diferença de cota altimétrica das EFs em 24 h, e) diferença do gradiente hidráulico em 24 h, f) IRQ da UHE Capivara. Prec: precipitação. i: gradiente hidráulico. EF: estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Figura 71. Comparação entre os dados de precipitação, vazão, cota altimétrica, gradiente hidráulico e IRQ da UHE Capivara, referente ao período do hidrograma 4.



a) precipitação no dia d e precipitação acumulada em 24 h, b) vazão das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho, c) cotas altimétricas das EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho e gradiente hidráulico entre estas EFs, d) diferença de cota altimétrica das EFs em 24 h, e) diferença do gradiente hidráulico em 24 h, f) IRQ da UHE Capivara. Prec: precipitação. i: gradiente hidráulico. EF: estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Adicionalmente, para avaliar melhor a dinâmica de mudança do gradiente hidráulico, procurou-se analisar a geometria hidráulica das seções das estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia – 64506000 – e Jataizinho – 64507000 – através de testes de regressão linear múltipla. A análise da geometria hidráulica foi realizada com base nos dados de resumo de descarga, porém, somente com base nos dados obtidos em datas iguais para as duas estações fluviométricas. O objetivo disso foi padronizar a periodicidade e o rol dos dados. Ao todo foram utilizados 50 dados numéricos normalizados para cada uma das três variáveis independentes e para a variável dependente, portanto, um *rol* de 200 dados numéricos para cada uma das duas seções transversais das estações fluviométricas. *Os* cálculos das estatísticas de regressão foram realizados através do *software R Core Team* (2016). Assim, as estatísticas do teste de regressão linear múltipla, relativas à estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 – podem ser averiguadas na (Tabela 26).

Tabela 26. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo de geometria hidráulica da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000.

```
lm(formula = Y ~ X1 + X2 + X3, data = X64506000)
Residuals:
     Min          1Q           Median     3Q           Max
-0.25148   -0.05281    -0.01353   0.03897   0.34173

Coefficients:
                Estimate    Std. Error   t value   Pr(>|t|)
(Intercept)    -2.676e-16   1.312e-02    0.000     1.000000
X1              3.973e-02   1.588e-02    2.502     0.015954 *
X2              7.790e-02   2.092e-02    3.723     0.000536 ***
X3              9.246e-01   1.862e-02    49.643     < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.09274 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9919,Adjusted R-squared:  0.9914
F-statistic:  1884 on 3 and 46 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error: Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística F do modelo; DF= graus de liberdade. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Observa-se que a principal variável que ajusta a variável resposta, isto é, a vazão – Y – na seção da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 – é a velocidade média do fluxo do rio – X3, na medida em que o *p-valor* e o valor *t* do *β* da variável preditora em questão são, respectivamente, o mais

significativo e o que apresenta maior significância. A segunda variável que melhor ajusta a vazão é a profundidade média – X2; enquanto a variável largura média – X1 é a que menos ajusta a vazão, pois embora apresente *p-valor* abaixo do nível *α*, denota valor *t* com pouca significância para a vazão quando se observa o valor *t crítico* – *tc* – apresentado em Triolla (2012, p.699).

A regressão linear múltipla do modelo referente à estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 – ficou da seguinte forma (Equação 48).

$$Y = 3.973e\text{-}02\ X1 + 7.790e\text{-}02\ X2 + 9.246e\text{-}01\ X3 + (-2.676e\text{-}16) \qquad (48)$$

Analisando os dados da regressão verifica-se comportamento igual para o *β* das variáveis explicativas, apontando sempre para um mesmo padrão de comportamento das variáveis do modelo, qual seja, na medida em que as variáveis independentes aumentam, a variável resposta também aumenta.

Com relação à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 – as estatísticas do teste de regressão linear múltipla podem ser observadas na (Tabela 27).

Tabela 27. Parâmetros e estatísticas referentes ao modelo de geometria hidráulica da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

```
lm(formula = Y ~ X1 + X2 + X3, data = X64507000)
Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.21835 -0.10498 -0.03104  0.04011  0.54037

Coefficients:
             Estimate    Std. Error t value   Pr(>|t|)
(Intercept) -3.736e-17   2.307e-02    0.00   1.000000
X1           9.654e-02   2.652e-02    3.64   0.000689 ***
X2           1.145e-01   3.589e-02    3.19   0.002564 **
X3           9.056e-01   3.361e-02   26.95   < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.1631 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.975, Adjusted R-squared:  0.9734
F-statistic: 598.6 on 3 and 46 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Cálculos realizados por meio do *R Core Team* (2016). Pr (>| t |) = p-valor; t value = teste t; Std. Error = erro padrão da média da amostra; Coefficient Estimate = β. Coefficient Estimate(Intercept) = β0. Signif. Codes = O quão os p-valores são significantes, sendo o valor crítico de α igual a 0.05 (5%). Quanto mais asteriscos ‘***’, mais significante é o p-valor; Residual standard error: Erro padrão residual; Multiple R-squared = R^2; Adjusted Multiple R-squared = R^2 ajustado; F-statistic = estatística F do modelo; DF= graus de liberdade. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Observa-se que a principal variável que ajusta a vazão – Y – também é a velocidade média do fluxo do rio – X3 – na medida em que o *p-valor* e o

valor *t* do *β* da referida variável preditora são, respectivamente, o mais significativo e o que apresenta maior significância. A segunda variável que melhor ajusta a vazão, diferente do primeiro modelo, é a largura média – X1 – enquanto a profundidade média – X2 – é a terceira variável que melhor ajusta a vazão. Os dados apontam que além dos *p-valores* de todos os *βs* serem significativos, os valores *t* de todos os *βs* também apresentam significâncias, isto é, são significativamente diferentes de zero, situação que não é evidenciada no primeiro modelo, visto que naquele a largura média – X1 – não possui significância.

A regressão linear múltipla do modelo referente à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 – ficou da seguinte forma (Equação 49).

$$Y = 9.654e\text{-}02\ X1 + 1.145e\text{-}01\ X2 + 9.056e\text{-}01\ X3 + (-3.736e\text{-}17) \qquad (49)$$

Observa-se também comportamento igual para o *β* das variáveis explicativas, apontando sempre para um mesmo padrão de comportamento das variáveis do modelo, qual seja, na medida em que as variáveis independentes aumentam, a variável resposta também aumenta.

As médias históricas das variáveis utilizadas para avaliar a geometria hidráulicas das seções das estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia – 64506000 – e Jataizinho – 64507000 – podem ser observadas na (Tabela 28) e na (Tabela 29).

Tabela 28. Valores médios das variáveis de geometria hidráulica da seção da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000.

	Vazão média - Y - (m3/s)	Largura média - X1 - (m)	Profundidade média - X2 - (m)	Velocidade média - X3 - (m/s)
Média histórica	326,204	138,099	6,825	0,333
SD	240,390	2,597	0,484	0,216
CV	73,693	1,881	7,085	64,899

Organizado por SOUSA, R. V. B.

Tabela 29. Valores médios das variáveis de geometria hidráulica da seção da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

	Vazão média - Y - (m3/s)	Largura média - X1 - (m)	Profundidade média - X2 - (m)	Velocidade média - X3 - (m/s)
Média histórica	335,990	195,943	4,621	0,347
SD	242,543	19,447	0,520	0,210
CV	72,188	9,925	11,249	60,699

Organizado por SOUSA, R. V. B.

Resumidamente, as variáveis que melhor ajustam a vazão na seção da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 – são, respectivamente, velocidade média e profundidade média. A largura média da seção praticamente não influencia o ajuste da vazão. Acerca da seção da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 – as variáveis que melhor ajustam a vazão nesta, em ordem de importância, são: velocidade média, largura média e profundidade média.

Embora ambas estações fluviométricas estejam localizadas, no curso inferior do Rio Tibagi, a litologia do leito do rio e a presença de lineamentos estruturais fazem com que a velocidade média do fluxo do rio seja uma variável importante no ajuste da vazão, situação distinta à tendência geral na qual a velocidade de fluxo do rio deixa de ser a principal variável de ajuste da vazão nesse trecho do perfil longitudinal do rio. Essa constatação será evidenciada de forma mais contundente, após a apresentação de alguns dados topográficos obtidos *in situ.*

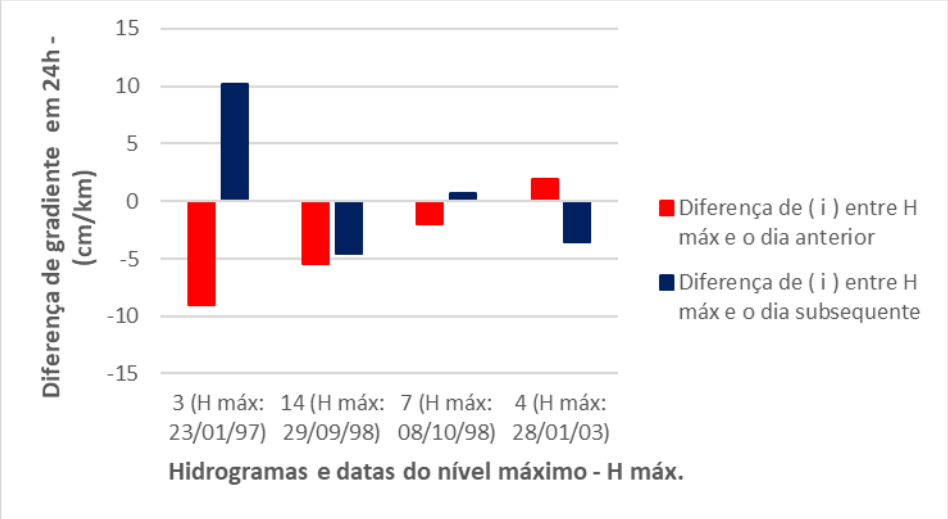
Após a análise dos hidrogramas e dos resultados de geometria hidráulica, conclui-se que em episódios de transbordamento do Rio Tibagi, principalmente durante as cotas altimétricas mais altas, a elevação do nível do rio na estação fluviométrica Jataizinho – cota fluviométrica e não cota altimétrica – tende a ser maior em relação à estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia, situada 10.85 km a montante, devido ao efeito de onda de cheia. Atrelado a isso, pode-se afirmar que a variável largura média do rio, na medida em que ajusta mais a vazão na estação fluviométrica Jataizinho, tende a retardar o rebaixamento do nível do rio nessa seção, após a passagem da onda de cheia, enquanto na estação fluviométrica a montante, o rebaixamento é mais rápido tendo em vista que a variável largura média praticamente não ajusta a vazão nesta.

Nos dias subsequentes à vazão de pico – cota altimétrica máxima – verifica-se um padrão geral de rebaixamento do nível do rio até esse retornar ao seu comportamento normal. Desse modo, o gradiente hidráulico tende a voltar ao normal com o término da curva de depleção do escoamento superficial do hidrograma 3. Especificamente com relação ao primeiro dia após à vazão de pico, não se observa um único padrão de rebaixamento do nível do rio em todos os hidrogramas. Nessa situação, ora o rebaixamento do nível tende a ser maior na estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000, tendo em vista que nessa seção as variáveis que melhor ajustam a vazão são a velocidade média e a profundidade média, e ora o rebaixamento do nível tende a ser maior na estação fluviométrica Jataizinho –

64507000; nesse caso nota-se uma anomalia no hidrograma 3, o que demandou melhor análise do problema, especificamente, das variações do nível e do gradiente hidráulico.

Assim, analisando-se a variação do gradiente hidráulico em todos os hidrogramas, verifica-se que após o nível mais alto do Rio Tibagi – vazão de pico – o aumento do gradiente hidráulico se dá de forma brusca no hidrograma 3, precisamente entre o dia 23/01/1997 e 24/01/1997. De modo específico, o aumento do gradiente foi de 10.2 cm/km, o que correspondeu a uma diferença da cota altimétrica do rio em 24 h, equivalente a 2.11 m. Nos demais hidrogramas a mudança do gradiente entre o dia da vazão de pico e o dia subsequente é bem menor. Essas variações do gradiente podem ser sintetizadas na (Figura 72).

Figura 72. Diferença do gradiente hidráulico em 24 h, entre as EFs Chácara Ana Cláudia e Jataizinho, no período referente ao hidrograma 3.



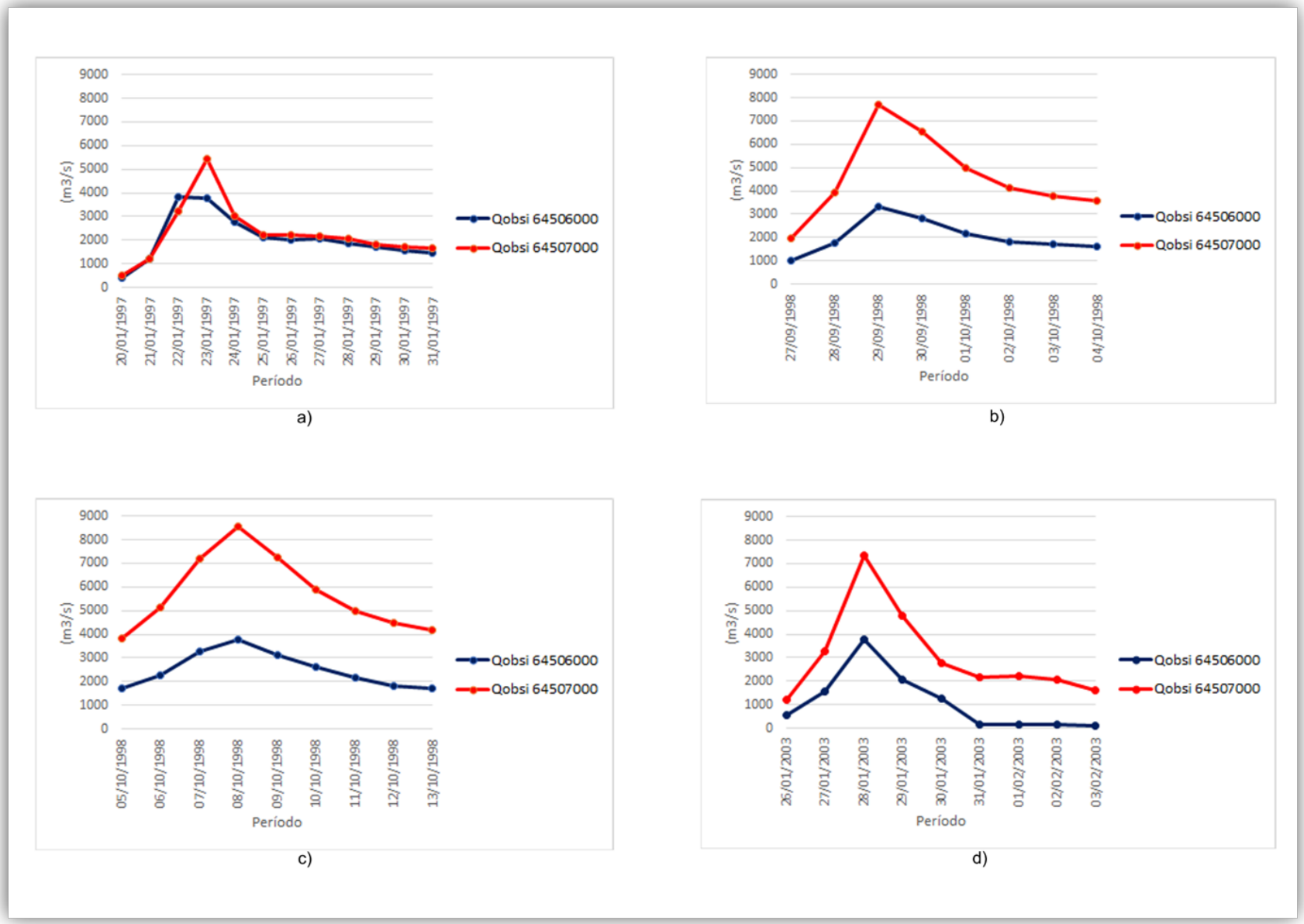
EF: estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R. V. B.

No cômputo geral, pode-se afirmar que a tendência de diminuição do gradiente hidráulico para os níveis mais altos do Rio Tibagi, está relacionada ao efeito de onda de cheia entre as estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia – 64506000 e Jataizinho – 64507000 – e à geometria hidráulica das seções destas. Após o término da vazão de pico, a tendência geral que se observa é de aumento gradual do gradiente até este retornar ao seu estado normal. Por sua vez, situações em se verificam aumentos bruscos do gradiente hidráulico, entre a vazão de pico e

dia subsequente, como a que foi verificada no hidrograma 3, entre 23/01/1997 e 24/01/1997, podem estar relacionadas ao regime de operação da UHE Capivara.

Outra evidência que aponta possível influência do regime de operação da UHE Capivara para a anomalia verificada no hidrograma 3, especificamente, aumentos bruscos de cota altimétrica e de gradiente hidráulico, entre 23/01/1997 e 24/01/1997, é a mudança da forma da hidrógrafa da estação fluviométrica Jataizinho. A comparação dos fluviogramas das estações fluviométricas Jataizinho – 64507000 – e Chácara Ana Cláudia – 64506000 – aponta que no período entre o período 20/01/1997 e 21/01/1997, referente ao hidrograma 3, não se observa um comportamento habitual da onda de cheia entre estas duas estações fluviométricas, de modo que a vazão da estação fluviométricas Jataizinho, após a vazão de pico, é rebaixada a valores praticamente iguais aos que se observam na estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia. Vale reforçar que em nenhum outro fluviograma se observa isso. Entende-se que esse comportamento pode ser reflexo, tanto de curva-chave mal calibrada, como de interferência antropogênica no canal. A fim de agrupar os fluviogramas das duas estações fluviométricas, estas podem ser observadas na (Figura 73).

Figura 73. Comparação entre os fluviogramas das EFs Chácara Ana Cláudia – 64506000 – e Jataizinho – 64507000.

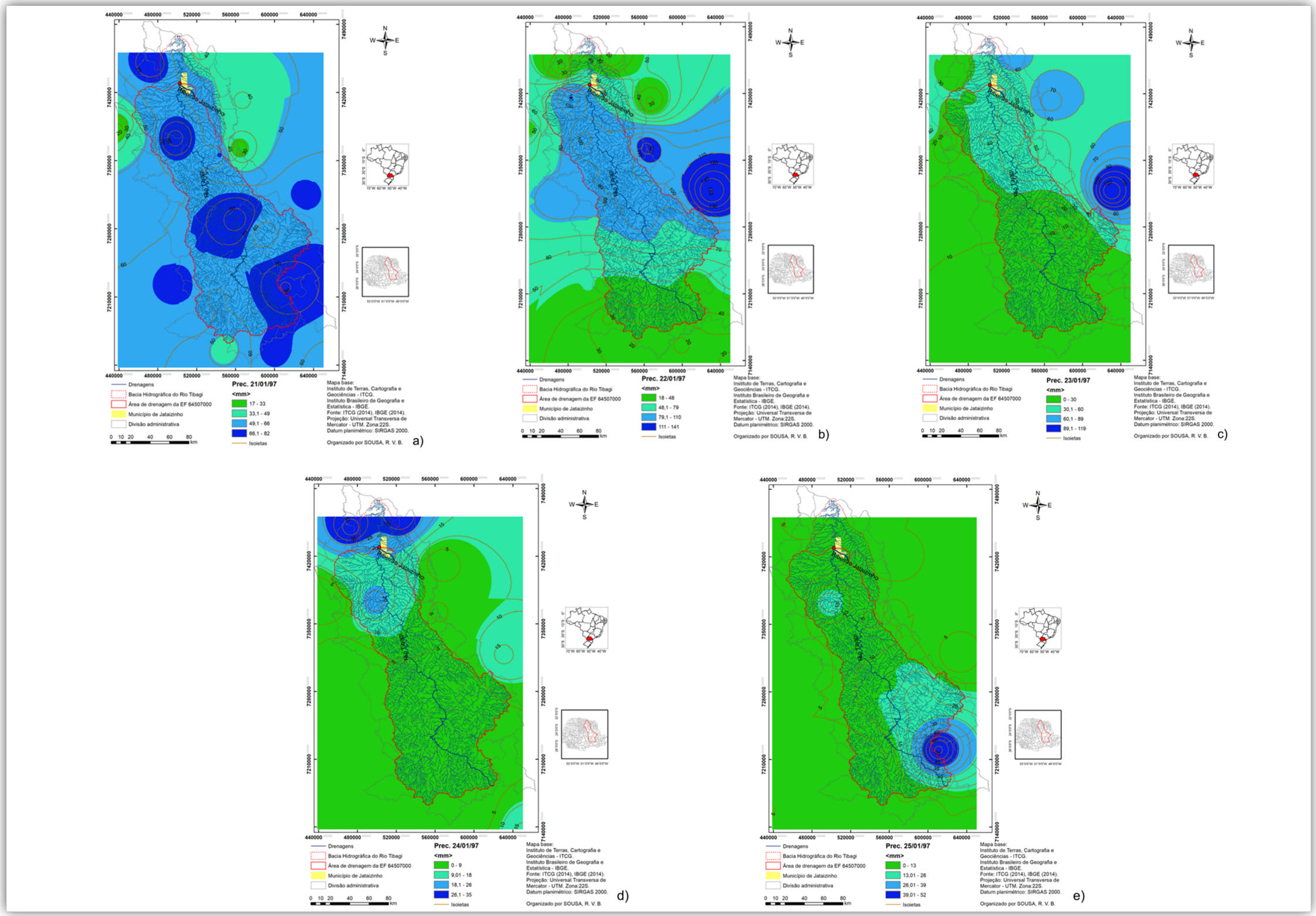


a), b) c), d): sucessivamente fluviogramas referentes aos períodos dos hidrogramas 3, 14, 7 e 4. EF: estação fluviométrica. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Com o intuito de avaliar se a anomalia evidenciada no hidrograma 3, entre 23/01/1997 e 24/01/1997, não foi ocasionada somente por evento meteorológico, especificamente, precipitação, optou-se por espacializar as chuvas sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho, a qual possui área de 21900 km^2, enquanto a área total da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi é de 24937 km^2, de modo que a diferença entre as duas áreas é de 3037 km^2.

Para a interpolação dos dados de precipitação, optou-se pela técnica do inverso da distância, discutido por Miranda (2005, p.285). Para a determinação do número de classes e do intervalo entre estas, aplicou-se a técnica de *Sturges,* discutida por Gerardi; Silva (1981, p.34) e Ramos; Sanchez (2000, p.26). A espacialização das precipitações sobre a área de interesse pode ser averiguada na (Figura 74) e na (Figura 75).

Figura 74. Espacialização das precipitações sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho.

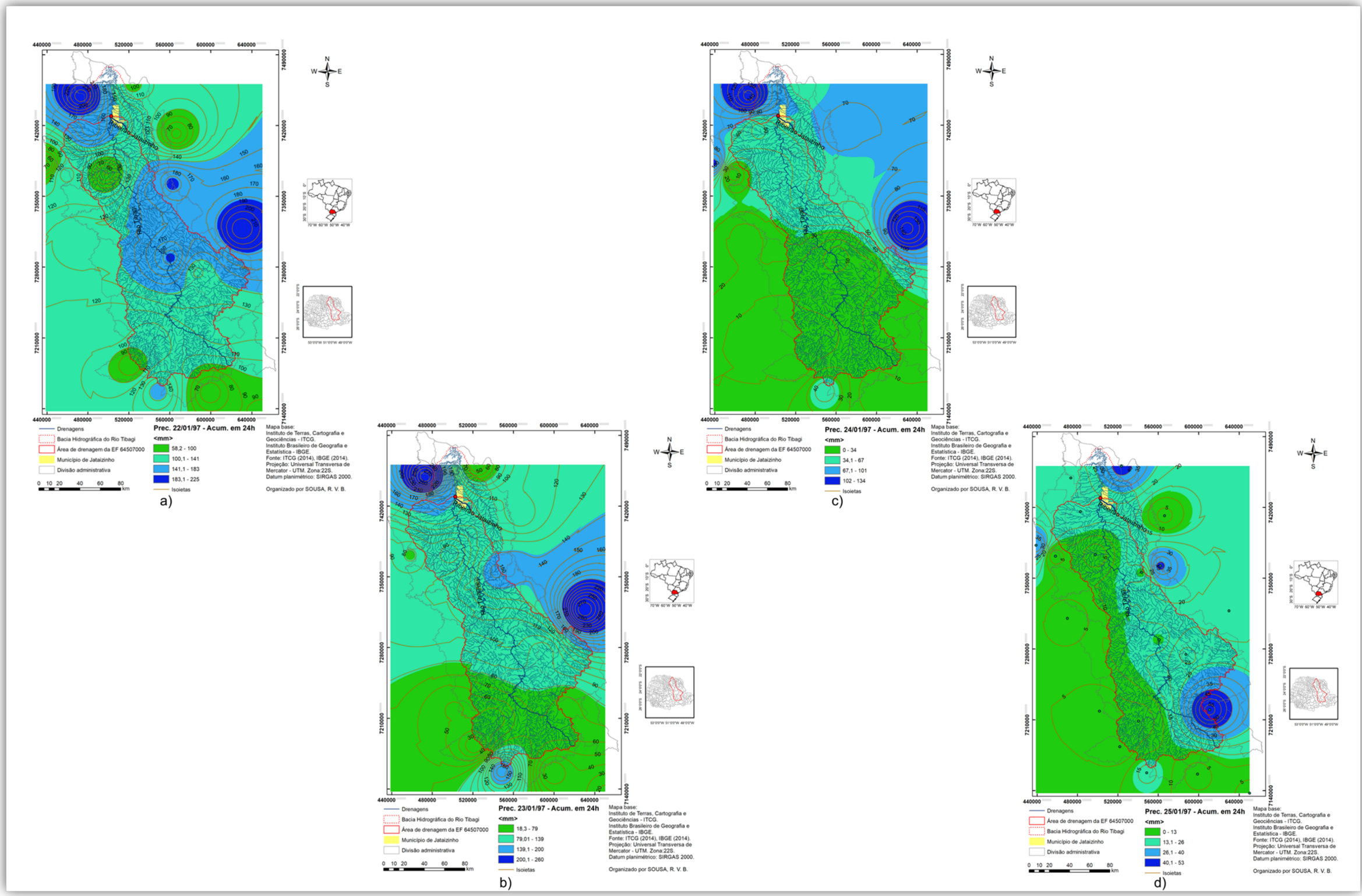


a), b), c), d), e): precipitações sucessivamente em 21, 22, 23, 24 e 25/01/1997. Organizado por SOUSA, R. V. B.

Destacam-se os seguintes pontos, após a análise da distribuição espacial das chuvas apresentadas na (Figura 74):

- Verifica-se que a precipitação sobre a área de drenagem da EF Jataizinho – 64507000 – se iniciou no dia 21/01/97, portanto, dois dias antes da vazão de pico em 23/01/97.
- Observa-se um deslocamento da chuva de sul para norte, havendo variação das precipitações mais abundantes nessa mesma direção, na sequência dos dias.
- Constata-se que a maior precipitação ocorreu, no dia 22/01/97, isto é, um dia antes da vazão de pico, a qual esteve concentrada principalmente, no médio e baixo curso do Rio Tibagi, com taxas entre 79.1 mm e 110 mm. Vale destacar que a precipitação média sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho, nessa mesma data, calculada através da técnica de Thiessen foi, respectivamente, 76 mm e 144,1 mm.
- Verifica-se que, no dia 23/01/97, data em que ocorreu a vazão de pico, a precipitação esteve concentrada no curso inferior do Rio Tibagi, porém, com taxas bem inferiores ao dia anterior, variando entre 30.1 mm e 60 mm para a maior parte da área em questão. Essa constatação aponta que a redução brusca da vazão, a redução brusca da cota altimétrica e o aumento brusco do gradiente hidráulico, entre a data da vazão de pico ou nível máximo do Rio Tibagi – 23/01/1997 – e o dia subsequente, não podem ser atribuídos a precipitações concentradas em escala local, na medida em que a taxa de precipitação na data da vazão de pico foi bem inferior à taxa de precipitação do dia anterior.

Figura 75. Espacialização das precipitações acumuladas em 24 h sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho.



a), b), c), d): precipitações acumuladas em 24 h sucessivamente em 22, 23, 24 e 25/01/1997. Organizado por SOUSA, R. V. B.

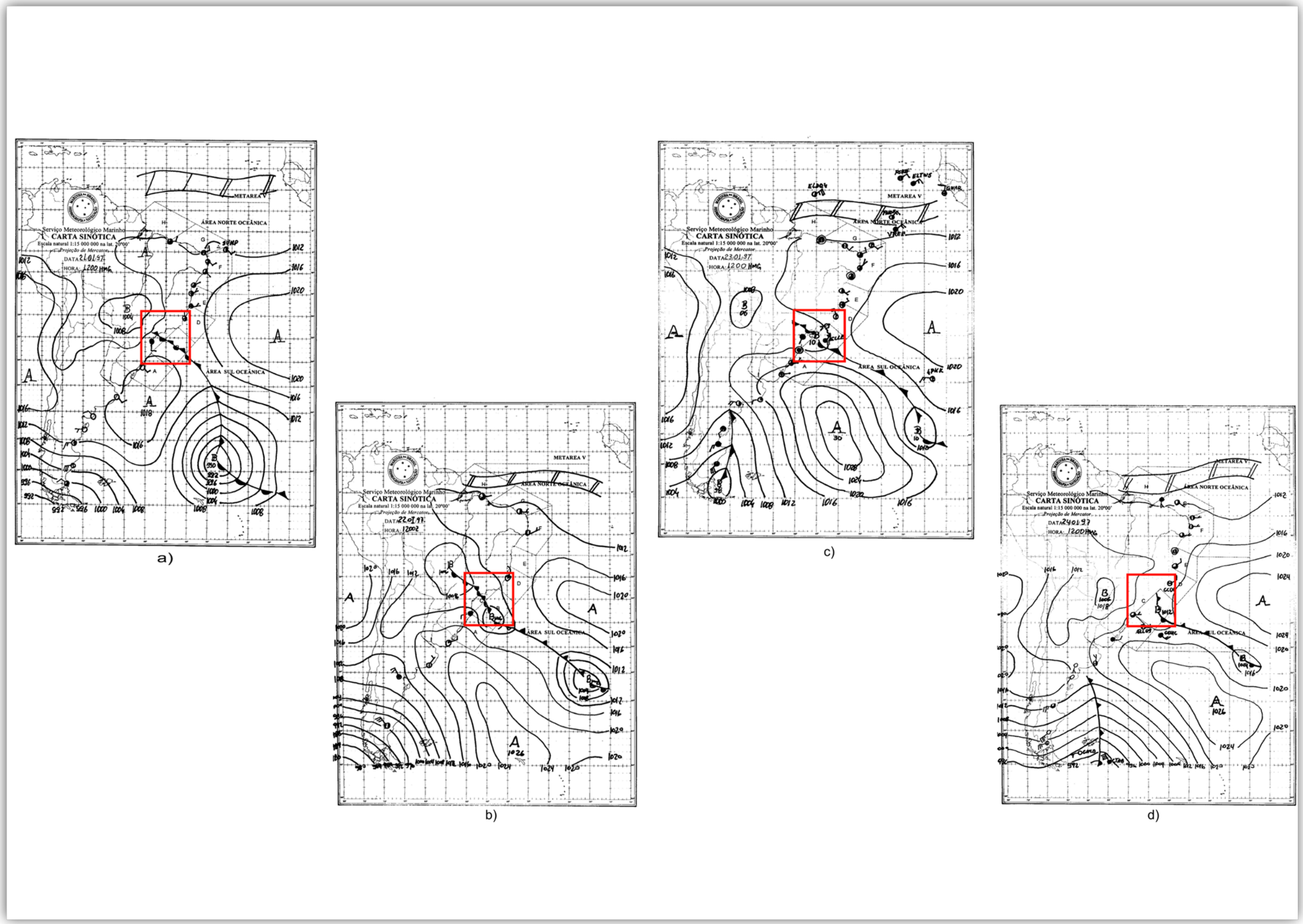
Destacam-se os seguintes pontos, após a análise da distribuição espacial das chuvas apresentadas na (Figura 75):

- Observa-se que as precipitações acumuladas em 24 h, no dia 22/01/1997, apresentaram maiores taxas na área mais setentrional da área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho, abrangendo o município de Jataizinho, e na área do médio curso do Rio Tibagi. Em verdade, nota-se uma irregularidade das precipitações sobre a área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho.
- No dia 23/01/1997, a precipitação acumulada em 24 h mostra distribuição mais regular. Nesse sentido, as taxas de precipitação, no baixo e médio curso do Tibagi, concentram-se principalmente entre 79.1 mm e 139 mm. Vale destacar que a precipitação acumulada em 24 h, sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho, calculada através da técnica de Thiessen foi 144,1 mm.
- No dia 24/01/1997, verifica-se redução da taxa de precipitação acumulada em 24 h e observa-se distribuição da precipitação bem compartimentada, havendo menor concentração da chuva no alto curso e em parte do médio curso do Rio Tibagi, com taxas entre 0 mm e 34 mm, e maior concentração da chuva no baixo curso e em parte do médio curso, com taxas entre 34.1 e 67 mm. Comparando os mapas a e b fica nítido que houve uma variação das maiores taxas de precipitação de sul para norte, lembrando que essas são precipitações acumuladas em 24 h.
- No dia 25/01/1997, as taxas de precipitação acumulada em 24 h são as menores registradas e constata-se uma distribuição irregular das chuvas. Vale salientar que essa data coincide com o fim da curva de depleção do escoamento superficial do hidrograma 3.

A fim de entender a gênese das precipitações sobre a área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho, entre 21/01/1997 e 25/01/1997,

foram analisadas cartas sinóticas em nível de superfície, disponibilizadas pelo Centro de Hidrografia da Marinha. Nesse sentido, foram analisados os fenômenos e os sistemas atmosféricos mais importantes pela dinâmica das chuvas, sobre a área de interesse, nesse curto período. A área de interesse está delimitada nas cartas sinóticas aproximadamente entre as coordenadas geográficas 45º W e 55º W e 20º S e 30º S. A sequência das cartas sinóticas pode ser observada na (Figura 76).

Figura 76. Cartas sinóticas referentes ao período do hidrograma 3.



Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha. a), b), c), d): cartas sinóticas na sequência dos dias 21, 22, 23 e 24/01/1997. Organizado e modificado por SOUSA, R. V. B.

Assim, em 21/01/1997, observa-se um campo de alta pressão atmosférica, ao sul da América do Sul, dinamizado pelo Anticiclone Migratório Polar, o que viabilizou o avanço de uma frente fria sobre o território brasileiro, bem registrado pela direção de vento proveniente de sul. O contato dessa frente fria com uma frente quente proveniente do Anticiclone Semifixo do Atlântico, viabilizou a existência de uma frente estacionária, aproximadamente, entre 50º W e 40º W e 23º S e 30º S. Verifica-se, também, uma circulação ciclônica – ciclone – no vértice da frente fria sobre o Atlântico Sul, centrado entre 30º W e 35º W e 45º S e 50º S, fenômeno que está associado ao desenvolvimento de frentes frias. Nesse sentido, pode-se afirmar que as precipitações sobre a área de estudo foram decorrentes da atividade dessa frente estacionária, uma vez que as chuvas atingiram toda a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi.

Em 22/01/1997, verifica-se maior avanço da frente fria sobre o território brasileiro, com aumento dos valores das isóbaras nas adjacências da área de estudo. A avanço da frente fria é acompanhado pelo avanço à nordeste do ciclone, no Atlântico Sul, centrado entre 15º W e 25º W e 40º S e 45º S. Observa-se que a frente estacionária ainda está em atividade e que há avanço de uma frente quente provenientes de NW, em direção à frente estacionária, embora não seja possível precisar se essa onda de calor é da mTc ou da mEc. Assim, as maiores taxas de precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, principalmente, em seu médio e baixo curso, ocorreram nessa data devido a dois processos, a saber, avanço da frente fria proveniente do Anticiclone Migratório Polar e avanço de frente quente proveniente de NW, em direção à frente estacionária. Esses dois processos em conjunto intensificaram a atividade da frente estacionária sobre a área investigada, logo, o aumento da taxa de precipitação.

Em 23/01/1997, ainda se observa a frente estacionária em atividade, porém, com a frente fria mais enfraquecida. Vale destacar que a precipitação sobre a área de interesse, nessa data, a qual diz respeito à vazão de pico do hidrograma 3, esteve concentrada no curso inferior do Rio Tibagi, porém, com taxas bem inferiores ao dia anterior. A circulação ciclônica sobre o Atlântico Sul continua centrado aproximadamente entre as mesmas coordenadas geográficas do dia anterior.

Em 24/01/1998, a frente estacionária mostra-se bem mais enfraquecida já em processo de dissipação; enquanto a frente fria já mais enfraquecida passa a se deslocar para o Oceano Atlântico. Além disso, não se

observa mais a existência de uma circulação ciclônica bem definida, no vértice da frente fria sobre o Atlântico Sul, o que reforça o enfraquecimento da frente fria. Pelo fato da frente estacionária se mostrar em processo de dissipação, dispensou-se a análise da carta sinótica do dia subsequente, que coincide com as taxas de precipitação mais baixas observadas nos mapas de isoietas.

A análise das cartas sinóticas permite afirmar que as precipitações, sobre a Baia Hidrográfica do Rio Tibagi, logo, sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, entre 21/01/1997 e 23/01/1997, foram decorrentes da atuação de uma frente estacionária, cuja maior atividade dessa se deu em 22/01/1997, culminando nas maiores taxas de precipitação registradas no período investigado. Essas precipitações, portanto, podem ser classificadas como do tipo ciclônica ou frontal, as quais possuem como uma de suas características a abrangência de grandes áreas e não de áreas pontuais. Desse modo, a anomalia evidenciada no hidrograma 3 da estação fluviométrica de Jataizinho, entre 23/01/1997 e 24/01/1997, especificamente, a queda brusca da vazão acompanhada da queda brusca da cota altimétrica, do aumento brusco do gradiente hidráulico e do aumento brusco do IRQ da UHE Capivara, não pode ser atribuída a precipitação em escala local – cidade de Jataizinho ou curso inferior do Rio Tibagi – tendo em vista que a maior taxa de precipitação sobre a área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho ocorreu, no dia 22/01/1997, enquanto a anomalia do hidrograma ocorreu entre os dois dias subsequentes. Além disso, a taxa de precipitação sobre a área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho, em 23/01/1997, data em que ocorreu a vazão de pico, foi inferior à taxa de precipitação do dia 22/01/1997, portanto, os dados deixam claro que a chuva não foi a variável responsável pela anomalia do hidrograma, tampouco a única variável responsável pelo transbordamento do Rio Tibagi. Destaca-se, também, que, devido à dimensão da área de drenagem da estação fluviométrica de Jataizinho e devido à extensão do Rio Tibagi, é descartada a ideia de que chuvas locais possam ter causado inundações da magnitude que ocorreram nesse período.

Os resultados apontam que não pode ser feita uma relação de casualidade direta entre a precipitação e a anomalia evidenciada no hidrograma 3, na medida em que a análise dos mapas de isoietas e das cartas sinóticas mostraram que: a) as precipitações se iniciaram em 21/01/1997, ou seja, dois dias antes da vazão de pico, b) as precipitações máximas ocorreram, em 22/01/1997, isto é, um

dia antes da vazão de pico, e abrangeu toda Bacia Hidrográfica do Tibagi, mas, principalmente, o médio e o baixo curso do Tibagi, c) as precipitações entre 21/01/1997 e 23/01/1997 foram do tipo ciclônica ou frontal, portanto, não foram precipitações em escala local, c) embora a precipitação do dia 23/01/1997 tenha se concentrado no curso inferior do Rio Tibagi, a taxa de precipitação média sobre a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho, nessa data, foi bem inferior à taxa de precipitação média do dia anterior. Além disso, a área de drenagem da estação fluviométrica Jataizinho é grande, com 21900 km^2, enquanto o Rio Tibagi possui aproximadamente 550 km de percurso, portanto, chuvas locais sobre a cidade de Jataizinho ou mesmo apenas sobre o curso inferior do Rio Tibagi, não teriam a capacidade de provocar a anomalia evidenciada no hidrograma 3, na medida em que o fluxo de base contribui muito para a vazão do Rio Tibagi, fazendo com que o rebaixamento da vazão após a vazão de pico se dê de forma gradual, como verificado nos demais hidrogramas. Conforme cálculos realizados nessa pesquisa, vale destacar que para os hidrogramas analisados referentes ao período de cheia, a contribuição média do fluxo de base é de 58% para a vazão observada; enquanto para os hidrogramas do período de vazante, a contribuição média do fluxo de base é 62% para a vazão observada.

Um levantamento topográfico com estação total *in situ* permitiu calcular a altitude que o nível do Rio Tibagi alcançou nas colunas de sustentação da linha férrea, em 23/01/1997; podendo ser comparado com um dia cujo nível do rio está dentro da normalidade – (Figura 77) e (Figura 78). Os dados do levantamento topográfico podem ser visualizados na (Tabela 30).

Figura 77. Nível do Rio Tibagi, nas colunas de sustentação da linha férrea, divisa entre Ibiporã e Jataizinho, durante a inundação de 23/01/1997.



Fonte: Prefeitura de Jataizinho (*apud* SOUSA, 2012).

Figura 78. Nível do Rio Tibagi em 29/10/2013.



Fonte: SOUSA, R. V. B.

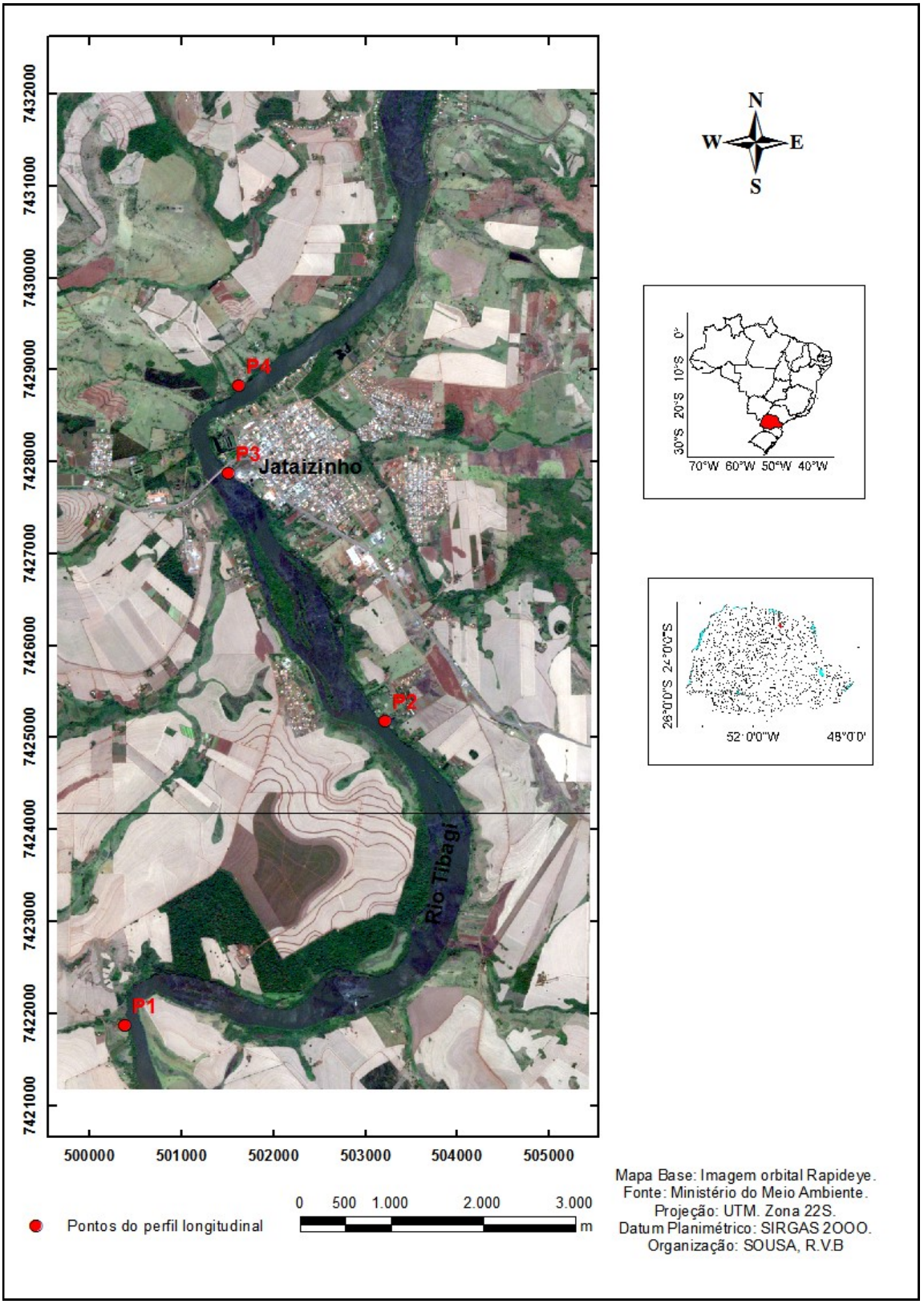
Tabela 30. Dados topográficos obtidos por meio de estação total e técnicas *GNSS*, referentes ao nível do Rio Tibagi nas colunas de sustentação da linha férrea em 23/01/1997.

V zenital	*Grau*	*Min*	*Seg*	*Dh*
	92	35	7	76.543
V decimal	***Sen***	***Cos***		
92.58527778	0.998982193	-0.0451063		
X materializado (m)	***Y materializado (m)***	***Z materializado (m)***		
501503.372	7427934.343	349.366		
h equip	***Dv***			
1.528	4.51			
X do Ponto-Alvo (m)	***Y do Ponto-Alvo (m)***	***Z geométrico do Ponto-Alvo (m)***	***Ondulação geoidal (m)***	***Z ortométrico do Ponto-Alvo (m)***
501579.8371	7427930.89	345.913	-3.76	349.673

V zenital: Ângulo zenital. Dh: Distância horizontal entre o equipamento e o ponto-alvo. V decimal: Ângulo zenital decimal. Sen: Seno de V decimal. Cos: Co-seno de V decimal. X: Longitude. Y: Latitude. Z: Altitude. h equip: Altura do equipamento em relação ao solo. Dv: Desnível (%). Z geométrico: Altitude geométrica. Z ortométrico: Altitude ortométrica. Ondulação geoidal: Diferença entre as altitudes geométrica e ortométrica. Organizado por: SOUSA, R.V.B.

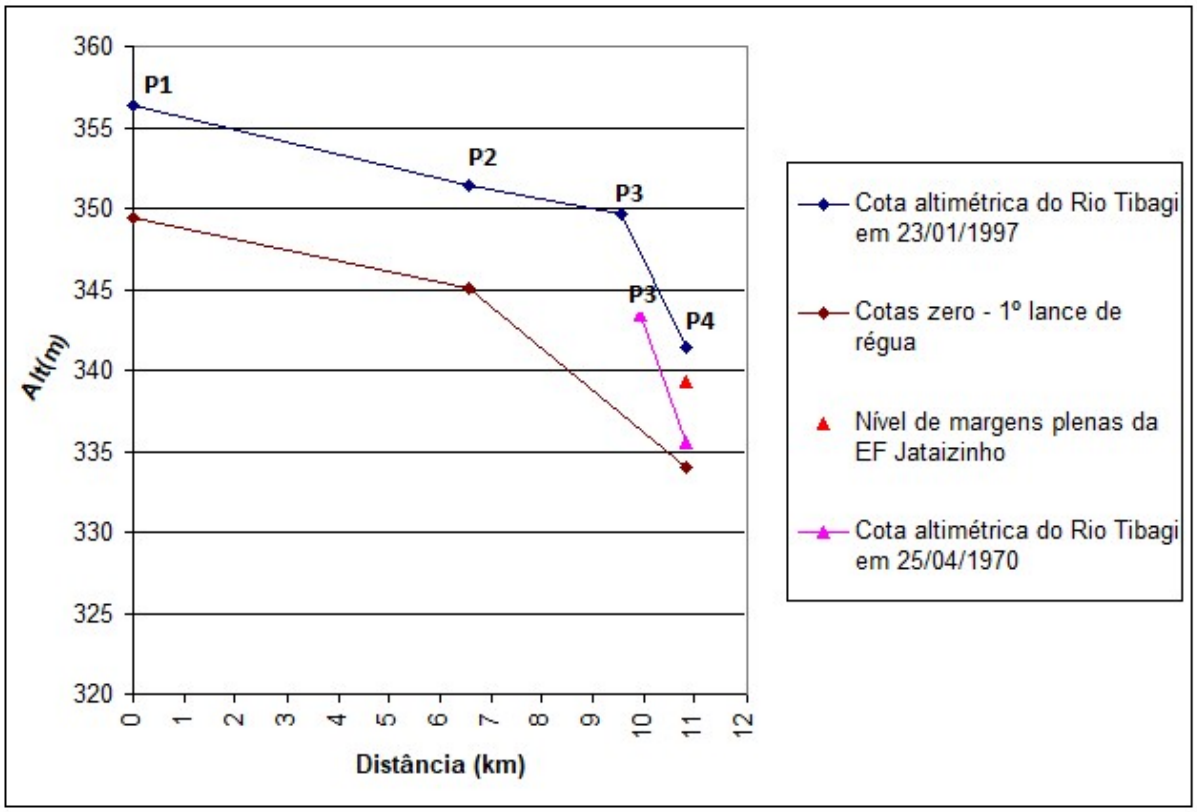
Sendo a cota altimétrica do Rio Tibagi na estação fluviométrica Jataizinho e nas colunas de sustentação da linha férrea, respectivamente, 341.46 m e 349.673 m, constata-se que a diferença altimétrica do nível do Rio Tibagi entre os dois pontos, em 23/01/1997, foi de 8.22 m. Um perfil longitudinal do nível do Rio Tibagi entre as estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia – 64506000 – e Jataizinho – 64507000 – pode ser observado na (Figura 79) e na (Figura 80).

Figura 79. Localização dos pontos utilizados para a construção do perfil longitudinal entre as estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia e Jataizinho.



P1: EF Chácara Ana Cláudia - 64506000. P2: EF Canal de Fuga Jataizinho - 64596500. P3: Ponte ferroviária. P4: EF Jataizinho - 64507000. EF: Estação fluviométrica. Organização: SOUSA, R.V.B.

Figura 80. Perfil longitudinal do Rio Tibagi entre a estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 e a estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, no episódio de inundação de 23/01/1997*.



P1: EF Chácara Ana Cláudia - 64506000. **P2:** EF Canal de Fuga Jataizinho - 64596500. **P3:** Ponte ferroviária. **P4:** EF Jataizinho - 64507000. EF: Estação fluviométrica. (*) Altitudes ortométricas calculadas com base em técnicas de topografia, técnicas *GNSS* e modelo de ondulação geoidal IBGE (2010) e dados hidrométricos obtidos em hidroweb e ANA. Distâncias obtidas por meio de técnicas de geoprocessamento. Organização: SOUSA, R.V.B.

A fim de verificar se a diferença de 8.22 m da cota altimétrica do Rio Tibagi entre os pontos 3 e 4 foi uma diferença específica para o episódio de inundação em 23/01/1997, calculou-se a diferença entre os dois pontos também em 25/04/1970, data correspondente à data de voo das aerofotos utilizadas nesta pesquisa. A cota altimétrica aproximada sob a linha férrea, em 25/04/1970, foi determinada através de estereoscopia digital. Assim, os resultados apontam que, em 25/04/1970, a diferença de cota altimétrica do Rio Tibagi entre os dois pontos equivale a 7.89 m, uma diferença muito próxima àquela do dia 23/01/1997, sendo que a média da diferença da cota altimétrica do rio entre as duas datas corresponde a 8.1 m. Por conseguinte, a diferença de 8.22 m, em 23/01/1997, mostra-se como um comportamento natural do rio.

A diferença média da cota altimétrica de 8.1 m entre os pontos 3 e 4, isto é, entre as colunas de sustentação da linha férrea e a estação fluviométrica de Jataizinho, distante entre si apenas 1.28 km, pode ser explicada por razões topográficas e geomorfológicas.

As margens do Rio Tibagi onde se localiza a ponte ferroviária – ponto 3 –, encontram-se topograficamente mais elevadas em comparação às margens onde se localiza a seção transversal da estação fluviométrica Jataizinho – ponto 4 –, principalmente em relação à margem direita desta, lado que corresponde à cidade de Jataizinho. Ademais, as margens do Rio Tibagi correspondentes ao ponto 3 apresentam altitudes entre 349 m e 353 m; enquanto as que correspondem ao ponto 4, principalmente na margem referente à cidade de Jataizinho, denotam altitudes entre 339 m e 341 m.

Geomorfologicamente, as margens do Rio Tibagi onde se localiza a ponte ferroviária – ponto 3 –, são constituídas principalmente por terraços; enquanto mais a jusante onde se localiza a estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 –, as margens do Rio Tibagi são constituídas por planícies fluviais, principalmente, a margem direita da estação fluviométrica – ponto 4. Nesse sentido, as maiores altitudes do relevo nas adjacências do ponto 3 faz com que o vale do canal fluvial neste trecho seja mais encaixado, permitindo que haja maior amplitude da cota altimétrica do Rio Tibagi em comparação ao ponto 4, onde as altitudes mais baixas e o tipo de relevo viabilizam maior extravasamento lateral do rio, principalmente para a margem direita onde se localiza a cidade de Jataizinho.

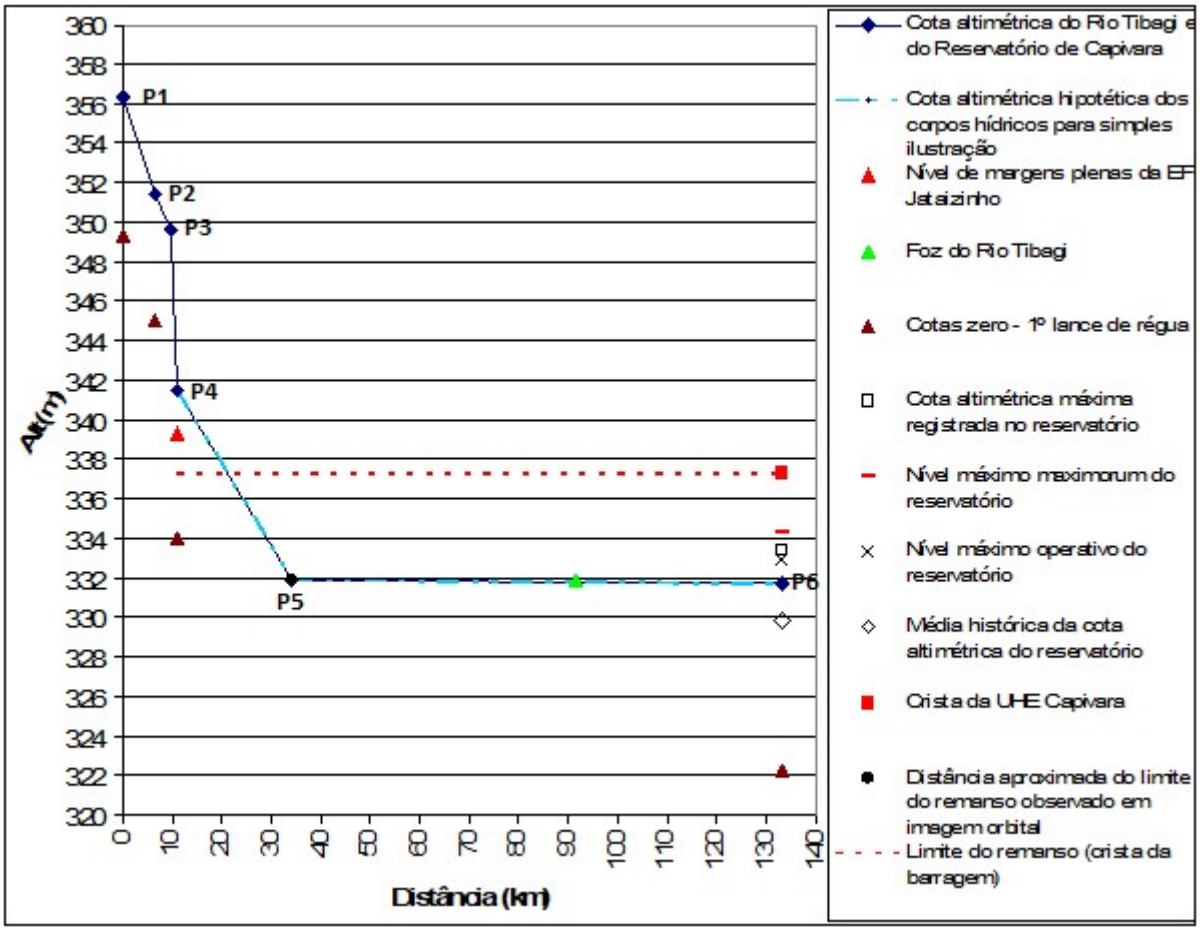
Convém acrescentar que aproximadamente 688 m a jusante da linha férrea, seguindo o canal fluvial, encontra-se uma anomalia de drenagem, um cotovelo, seguida de um lineamento estrutural, ambos possivelmente formados por processos de neotectônica, o que demandaria um estudo geológico mais detalhado para esta confirmação. É nesse lineamento estrutural que se encontra a seção da estação fluviométrica de Jataizinho.

Assim, a gênese da diferença altimétrica do nível do Rio Tibagi entre os pontos 3 e 4 talvez esteja relacionada aos processos geológicos que deram origem à anomalia de drenagem e ao lineamento estrutural identificados nas aerofotos e na imagem orbital. O mapeamento geomorfológico do sítio urbano de Jataizinho será apresentado no decorrer da pesquisa.

Fazendo-se uma relação entre os resultados de geometria hidráulica e os dados topográficos obtidos *in situ,* verifica-se que o fato da variável velocidade média do fluxo do rio ser a principal variável que ajusta a vazão, nas seções das estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia e Jataizinho, deve-se à litologia do leito do rio, formada basicamente por basaltos da Formação Serra Geral – JKsg – e à presença de lineamentos estruturais, fatores que contribuem para a existência de variações altimétricas consideráveis no leito do rio, logo, no nível deste, e para mudanças bem perceptíveis na forma do canal de drenagem.

Procurou-se estender o perfil longitudinal até a UHE Capivara, de modo que este pode ser observado na (Figura 81). Devido a problemas de adequação de escala para a representação de todos os pontos utilizados no perfil longitudinal, a localização da foz do Rio Tibagi e a da UHE Capivara podem ser visualizadas nas imagens orbitais do início do trabalho – (Figura 2) e (Figura 3).

Figura 81. Perfil longitudinal do Rio Tibagi entre a estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000 e a UHE Capivara, no episódio de inundação de 23/01/1997*.



P1: EF Chácara Ana Cláudia - 64506000. **P2:** EF Canal de Fuga Jataizinho - 64596500. **P3:** Ponte ferroviária. **P4:** EF Jataizinho - 64507000. **P5:** Limite do remanso aproximado. **P6:** UHE Capivara. EF: Estação fluviométrica. (*) Altitudes ortométricas calculadas com base em técnicas de topografia, técnicas *GNSS* e modelo de ondulação geoidal IBGE (2010) e dados hidrométricos obtidos em hidroweb, ANA e SIGEL. Distâncias obtidas por meio de técnicas de geoprocessamento. A distância aproximada do limite do remanso foi obtida com base em Sousa (2012). Organização: SOUSA, R.V.B.

No trecho compreendido entre a estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000 e a UHE Capivara, houve poucos levantamentos topográficos *in situ,* a não ser na própria UHE Capivara. Desse modo, a altitude dos níveis dos corpos hídricos, ao longo deste trecho, não possui o mesmo nível de detalhe como no trecho a montante.

A fim de contornar minimamente essa falha, procurou-se plotar no perfil longitudinal as distâncias correspondentes à foz do Rio Tibagi e o limite aproximado do remanso observado em imagens orbitais, e também cruzar estas informações com a cota altimétrica da UHE Capivara, em 23/01/1997, e com outras informações altimétricas da barragem. O resultado mostrou-se satisfatório e permitiu

verificar a mudança da curva do perfil longitudinal entre os pontos mais a montante e a jusante.

Analisando-se novamente o hidrograma 3 – (Figura 67) –, verifica-se que há boa correspondência entre a cota altimétrica da UHE Capivara, em 23/01/1997 – 331.743 m –, e a cota altimétrica referente à distância aproximada do limite do remanso em 20/02/2005 – 331.893 m, somente 10 cm mais alta. Vale salientar que a distância aproximada do limite do remanso foi calculada com base em técnicas de geoprocessamento e com base em Sousa (2012), que determinou a localização geográfica do limite aproximado do remanso através da análise de imagens orbitais.

A altitude do nível máximo maximorum do reservatório –334.293 m – é 27 cm superior à cota zero do primeiro lance de régua da estação fluviométrica Jataizinho – 334.020 m –, limitando-se, porém, ao primeiro lance da seção de réguas e, portanto, ao leito menor do Rio Tibagi. Embora o nível máximo maximorum do reservatório não ultrapasse o nível de margens plenas do Rio Tibagi no trecho do rio onde se localiza a estação fluviométrica de Jataizinho, verifica-se que aquele pode atuar diretamente no leito menor do Rio Tibagi e, desse modo, influenciar o aumento do nível do Rio Tibagi na seção da estação fluviométrica de Jataizinho, principalmente se este processo estiver relacionado a altas precipitações na Bacia Hidrográfica do Tibagi. Em termos quantitativos, a altitude do nível máximo maximorum do reservatório encontra-se 5.1 m abaixo do nível de margens plenas do Rio Tibagi no trecho do rio que abrange a estação fluviométrica de Jataizinho.

A altitude da crista da barragem – 337.293 m –, considerada a altitude limite do remanso, é 3.28 m superior à cota zero do primeiro lance de régua da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 e alcança o segundo lance da seção de réguas desta. Embora o limite do remanso não ultrapasse o nível de margens plenas do Rio Tibagi no trecho do rio onde se encontra a estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, verifica-se que aquele pode atuar diretamente no leito menor do Rio Tibagi caso o nível do reservatório atinja a altitude da crista da barragem. Em um cenário com a ocorrência desse processo associado a altas precipitações na Bacia Hidrográfica do Tibagi, o impacto sobre o Rio Tibagi pode ser significativo, inclusive induzindo o nível deste a alcançar o leito maior do canal fluvial. Em termos quantitativos, a altitude da crista da barragem encontra-se 2.1 m abaixo do nível de

margens plenas do Rio Tibagi no trecho do rio que abrange a estação fluviométrica de Jataizinho.

Feitas as devidas considerações, uma reconstituição do processo que ocasionou a anomalia identificada no hidrograma 3 pode ser feita da seguinte forma.

Provocou retardamento do fluxo natural do Rio Tibagi e, consequentemente, aumento do nível deste, o fato da vazão afluente da UHE Capivara ter sido maior em detrimento da vazão defluente desta entre o início do escoamento superficial direto e a vazão de pico do hidrograma, 21/01/1997 a 23/01/1997, processo que corresponde à maior retenção ao invés de maior liberação de água no reservatório, e que foi comprovado pela análise do IRQ.

Todavia, deve-se destacar que o fluxo natural do Rio Tibagi foi influenciado pela alta precipitação que ocorreu, na Bacia Hidrográfica do Tibagi, – 174 mm de precipitação total entre o início do escoamento superficial e a vazão de pico do hidrograma, 95 mm de precipitação acumulada até a vazão de pico e 76 mm de precipitação máxima que ocorreu no dia anterior à data da vazão de pico. Todos esses valores e condições de precipitação fazem com que este hidrograma seja o mais significativo em termos pluviométrico dentre todos os hidrogramas analisados, embora, a precipitação total do hidrograma 2 também seja 174 mm.

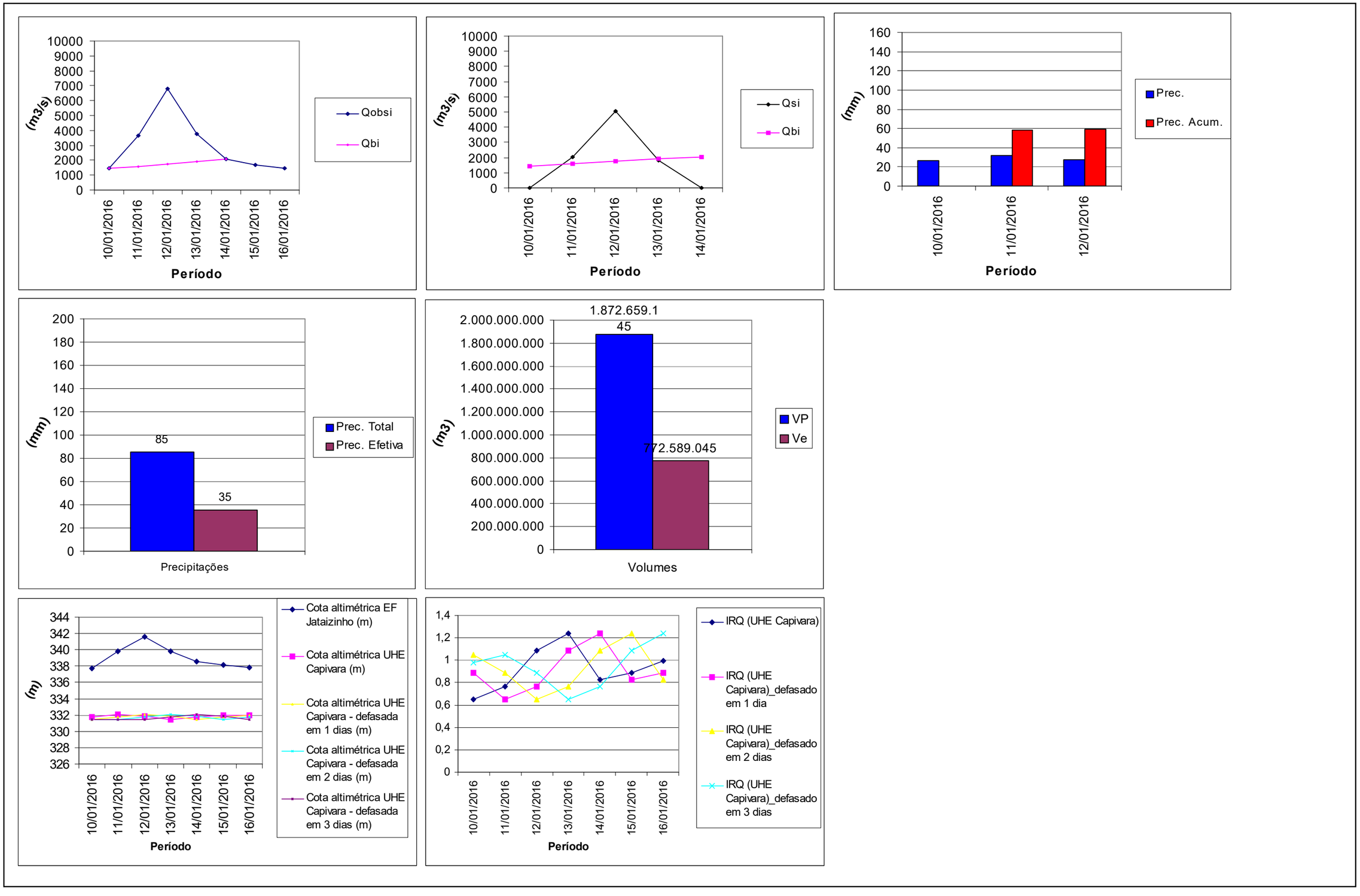
Levando em consideração que as vazões extremas dos rios, geralmente, são extrapoladas por curva-chave e valendo-se dos princípios da geometria hidráulica dos canais fluviais, discutidos por Leopold *et al*. (1964, p.268), a vazão de pico em 23/01/1997 – aproximadamente 5500 m^3/s – foi influenciada pelo aumento do nível do Rio Tibagi, e este pelo retardamento do fluxo natural do rio, processo imposto pelo regime de operação da UHE Capivara. Assim, a análise conjunta dos dados leva a crer que, durante o regime de operação da UHE Capivara, a demora em liberar mais água do reservatório teve participação direta na anomalia evidenciada neste hidrograma. Entretanto, a participação do regime de operação da UHE Capivara se deu forma pontual.

O aumento acentuado do nível do Rio Tibagi fez com que este quase alcançasse o topo da linha férrea que passa sobre o rio ligando os municípios de Jataizinho e Ibiporã. Consequentemente, o aumento do nível do Rio Tibagi quase atingiu a ponte rodoviária, nomeadamente a BR 369, que, igualmente à linha férrea, passa paralela a esta sobre o rio.

Dada a gravidade do processo, houve liberação rápida da água do reservatório de Capivara entre 23/01/1997 e 24/01/1997, o que resultou em uma variação brusca da vazão defluente da UHE Capivara, constatada pela análise do IRQ, e, consequentemente, em uma variação brusca da vazão observada do Rio Tibagi – Qobsi, que pode ser visualizada no hidrograma 3.

Nesse sentido, defende-se nessa pesquisa a ideia de que houve uma combinação de variáveis para a ocorrência da anomalia evidenciada no hidrograma 3, a saber: a) alta taxa de precipitação total até a vazão de pico, a saber, 174 mm b) alta precipitação nos dois dias anteriores à vazão de pico, respectivamente, 68 mm e 76 mm, c) alta precipitação acumulada em 24 h no dia anterior à vazão de pico e no dia da vazão de pico, respectivamente, 144 mm e 95 mm, d) precipitação do tipo frontal ou ciclônica com presença de frente estacionária, entre 21/01/1997 e 23/01/1997 – data da vazão de pico –, descartando-se a ideia de que a anomalia foi decorrente de precipitações locais, e) grande contribuição do fluxo de base e do escoamento superficial, até o término da curva de depleção do escoamento superficial, respectivamente, 48% e 52% da vazão total observada, em decorrência da alta taxa de precipitação, f) comparando a variação do IRQ da UHE Capivara, no intervalo de tempo entre 23/01/1997 e 24/01/1997, com as variações da vazão observada da estação fluviométrica Jataizinho, da cota altimétrica da estação fluviométrica Jataizinho e do gradiente hidráulico do Rio Tibagi entre as estações fluviométricas Chácara Ana Cláudia – 64506000 e Jataizinho – 64507000, nota-se que há grande relação entre essas variáveis hidrométricas. Assim, pode-se dizer que a anomalia observada no hidrograma 3, a qual corresponde ao rebaixamento rápido entre a vazão de pico – cota altimétrica máxima – e a vazão do dia subsequente, tem relação também com o regime de operação da UHE Capivara. Todavia, a influência do regime de operação da UHE Capivara mostra-se de forma pontual e de difícil identificação por meio de modelos matemáticos, o que exigiu uma análise qualitativa mais aprofundada, a fim de se chegar a essa conclusão.

Figura 82. Hidrograma 5. Período: 10/01/2016 a 16/01/2016. Vazão de pico: 12/01/2016.



Qobsi: Vazão observada. Qbi: Fluxo de base. Qsi: Escoamento superficial direto. Prec: Precipitação. Acum: Acumulada. VP: Volume total precipitado. Ve: Volume escoado. EF: Estação fluviométrica. IRQ: Índice de Razão de Vazão. Obs: A precipitação acumulada é em 24 h. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Visualmente, o hidrograma 5 referente à (Figura 82) parece não apresentar anomalia. Além do início do escoamento superficial direto - Qsi, chegando à vazão de pico e passando ao término da curva de depleção do escoamento superficial, verifica-se que houve contribuição do escoamento superficial direto e do fluxo de base – Qbi para a variação da vazão.

Em termos quantitativos, mostrou-se equilibrada a contribuição do escoamento superficial direto e do fluxo de base para a vazão observada. Assim, do total da vazão observada – Qobsi até o término da curva de depleção do escoamento superficial – 17693 m^3/s –; 49% equivale ao fluxo de base – Qbi – com valor de 8751 m^3/s e 51% equivale ao escoamento superficial direto igual a 8942 m^3/s. Nesse sentido, a contribuição do escoamento superficial direto é maior em detrimento do fluxo de base para a existência da vazão observada neste trecho do hidrograma. Deve-se ressaltar, porém, que as contribuições de Qsi e Qbi apresentam valores aproximados.

Verifica-se que, do início do escoamento superficial direto até a vazão de pico, o intervalo de tempo é de 2 dias; enquanto, da vazão de pico até o término da curva de depleção do escoamento superficial, há um período de tempo também de 2 dias.

Ao se iniciar o escoamento superficial direto, observa-se um aumento gradativo da vazão, ao passo que, ao se observar a curva de depleção, verifica-se um rebaixamento gradativo e mais lento da vazão, aparentemente mais lento quando comparado ao início do escoamento superficial direto até a vazão de pico.

A precipitação máxima – 32 mm –, ocorre no dia anterior à vazão de pico – 6814 m^3/s –. A precipitação total até a vazão de pico é 85 mm; enquanto a precipitação acumulada até a vazão de pico 59 mm.

Do total precipitado até a vazão de pico, ou seja, 85 mm, a precipitação efetiva para a vazão observada – Qobsi até o fim da curva de depleção do escoamento superficial é 35 mm, o que equivale a 41% da precipitação total.

Há registro de ocorrência de inundação pela Defesa Civil, sendo este um dos episódios de inundação com maior quantidade de pessoas atingidas. Segundo informações divulgadas pela mídia, o nível do Rio Tibagi quase encobriu a ponte férrea que liga Jataizinho à cidade vizinha, Ibiporã, mesmo episódio evidenciado em 23/01/1997. Entretanto, ao se analisar os valores de IRQ, não se

verifica nenhum comportamento atípico da vazão que indique haver influência do regime de operação da UHE Capivara para a variação da vazão observada da estação fluviométrica de Jataizinho – Qobsi e para a ocorrência de inundação na cidade de Jataizinho.

Deve ser ressaltado que, a partir de 23/11/2012, entrou em operação a UHE Mauá, a qual está localizada no médio curso do Tibagi, no município de Telêmaco Borba, a montante do município de Jataizinho, que está situado no baixo curso do Tibagi. Dessa forma, a análise das inundações em Jataizinho a partir da data de início de operação da UHE Mauá tornam-se mais complexas, na medida em que o regime de operação da UHE Mauá configura-se em uma nova variável no sistema. Entretanto, os dados hidrométricos referentes à UHE Mauá são escassos e de difícil acesso. O regime de operação da usina não foi analisado nesta pesquisa.

Figura 83. Hidrograma 8. Período: 26/12/1989 a 06/01/1990. Vazão de pico: 30/12/1989.



Qobsi: Vazão observada. Qbi: Fluxo de base. Qsi: Escoamento superficial direto. Prec: Precipitação. Acum: Acumulada. VP: Volume total precipitado. Ve: Volume escoado. EF: Estação fluviométrica. IRQ: Índice de Razão de Vazão. Obs: A precipitação acumulada é em 24 h. Organizado por SOUSA, R.V.B.

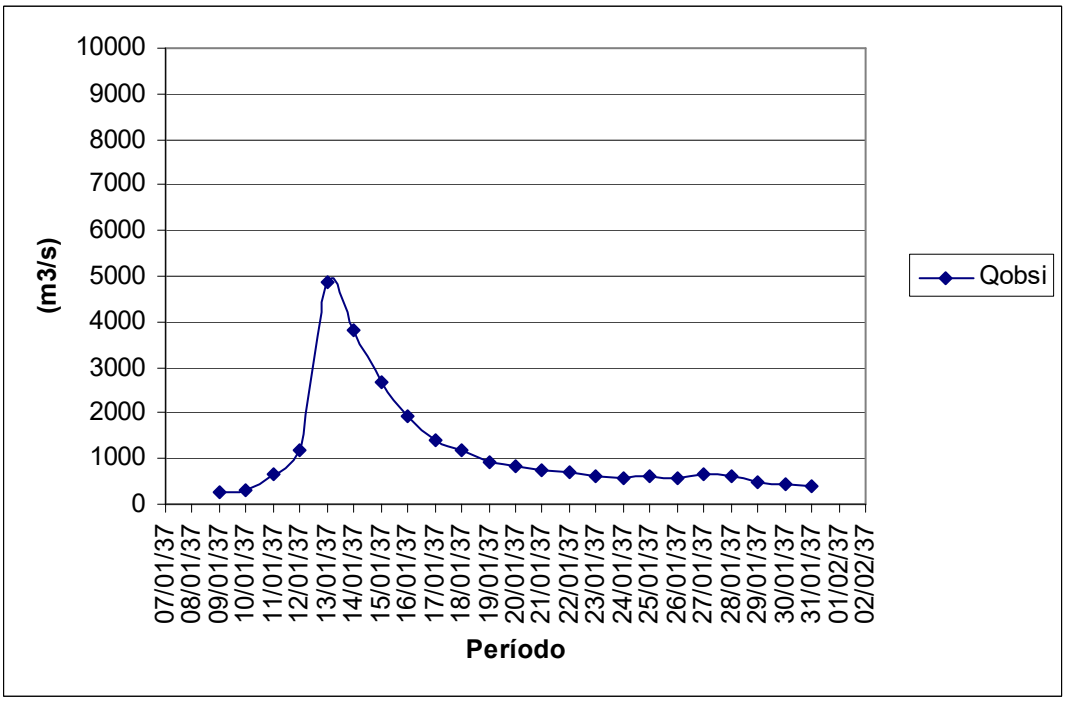
Ao observar o hidrograma 8 – (Figura 83) –, verifica-se que a data de vazão de pico do hidrograma e a data da maior cota altimétrica do Rio Tibagi não coincidem, o que leva a crer que pode ter ocorrido algum tipo de erro ou falha durante o registro ou cálculo dos dados hidrométricos pelas entidades responsáveis. O que torna difícil fazer comparações entre essas duas variáveis da estação fluviométrica de Jataizinho.

Todavia, comparando a vazão observada da estação fluviométrica de Jataizinho – Qobsi e os valores de IRQ, não se observa influência do regime de operação da UHE Capivara para a variação da vazão do Rio Tibagi, tendo em vista que, a partir do dia 29/12/1989, há aumento gradativo e sem variações bruscas da vazão defluente da UHE Capivara.

Complementando a análise, as cotas altimétricas mais altas registradas pela estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 – ou seja, cotas altimétricas iguais ou superiores a 341 m, já acima do nível de margens plenas, isto é, 339.346 m; dizem respeito às datas 31/05/1983, 23/01/1997 e 12/01/2016. Destas, somente a segunda pertence a hidrograma com anomalia influenciada pelo regime de operação da UHE Capivara e também possui registros de inundação pela Defesa Civil e matérias de jornais reforçando a influência da UHE Capivara para a ocorrência de inundações.

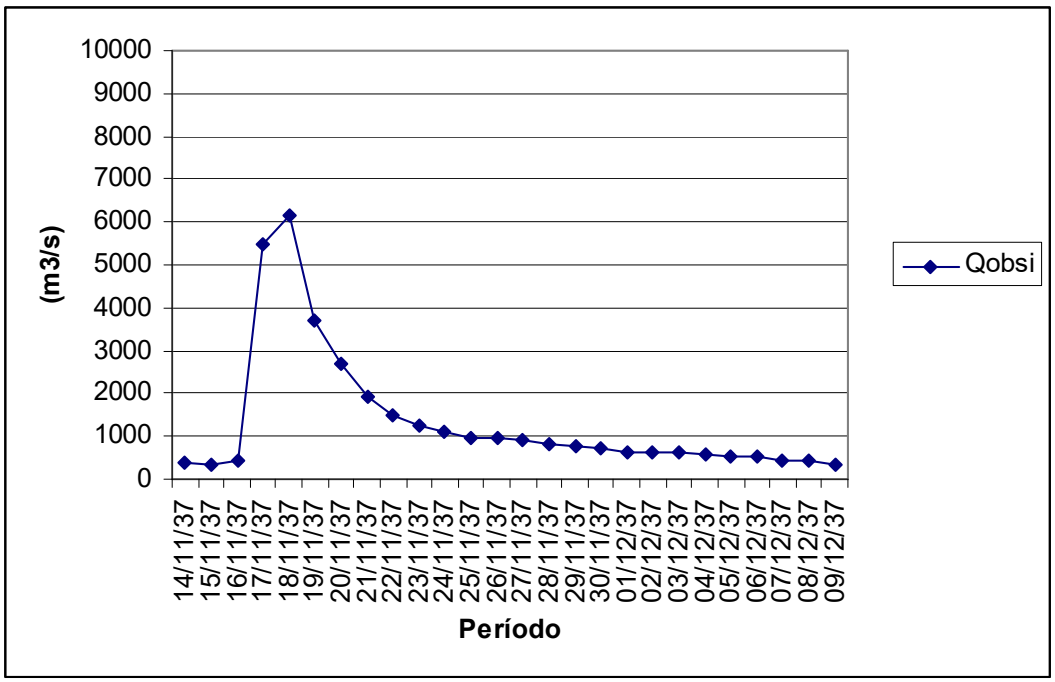
Procurou-se, destarte, comparar todos os hidrogramas que abrangem as datas com cota altimétrica do Rio Tibagi igual ou superior a 341 m, incluindo as datas anteriores ao início de operação da UHE Capivara, 13/01/1937, 17/11/1937 e 18/11/1937. O objetivo foi diagnosticar a existência de anomalias no comportamento dos hidrogramas posteriores à construção da barragem e dos fluviogramas anteriores à construção desta, a fim de detectar se estas anomalias ocorreram nos dois momentos, isto é, pré e pós-barragem. Os fluviogramas referentes ao período pré-barragem podem ser observados na (Figura 84) e na (Figura 85).

Figura 84. Fluviograma da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Período pré-barragem: 09/01/1937 a 31/01/1937.



Qobsi: Vazão observada. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Figura 85. Fluviograma da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. Período pré-barragem: 14/11/1937 a 09/12/1937.



Qobsi: Vazão observada. Organizado por SOUSA, R.V.B.

Após a comparação dos fluviogramas correspondentes ao período pré-barragem e dos hidrogramas referentes ao período pós-barragem, conclui-se que o aumento rápido da vazão observada após o início do escoamento superficial – Qsi não pode ser atribuído unicamente ao regime de operação da UHE Capivara, na medida em que fluviogramas anteriores à construção da UHE Capivara também apresentam esse comportamento. Como já apontado anteriormente, a influência do regime de operação da UHE Capivara, para a ocorrência ou intensificação das inundações em Jataizinho, se dá de forma pontual e em conjunto com outras variáveis hidroclimáticas.

Quanto ao rebaixamento rápido da vazão da estação fluviométrica de Jataizinho, entre a vazão de pico e o término da curva de depleção do escoamento superficial, este processo não pode ser considerado uma relação de causa e efeito com o regime de operação da UHE Capivara. Nesse sentido, a análise do IRQ mostra-se importante, pois, caso sejam evidenciadas anomalias nesse índice, no mesmo intervalo de tempo do hidrograma compreendido entre a vazão de pico e o término do escoamento superficial, torna-se possível a relação entre os dois fenômenos.

Destaca-se que, em nenhum dos fluviogramas anteriores à construção da UHE Capivara, verifica-se rebaixamento rápido da vazão entre a vazão de pico e o término do que seria a curva de depleção do escoamento superficial, mas sim rebaixamento lento e gradativo desta, aspecto que condiz melhor com a maioria dos hidrogramas analisados do período pós-barragem e com o tamanho da Bacia Hidrográfica do Tibagi.

Os resultados apontam que a maioria das inundações do Rio Tibagi pode ser considerada um processo natural do rio, fato comprovado pelos testes de regressão múltipla linear e pela análise dos hidrogramas. Entretanto, de modo pontual, o regime de operação da UHE pode interferir e potencializar as inundações na cidade de Jataizinho, fato comprovado pela análise qualitativa dos dados, especificamente do hidrograma 3 e dos demais dados hidrométricos analisados em conjunto com este.

Nesse sentido, o trecho do Rio Tibagi adjacente ao sítio urbano de Jataizinho pode ser considerado área influenciada pelo regime de operação da UHE Capivara. A comprovação desse fato abre uma nova perspectiva de análise quanto aos recursos financeiros recebidos pelo município de Jataizinho como medida

compensatória pela utilização dos recursos hídricos para produção de energia elétrica, denominados pela ANEEL (2007, 2011) como Compensações Financeiras pela Utilização dos Recursos Hídricos – CFURH.

Conforme relatórios da ANEEL (2007, 2011), os coeficientes de área inundada que são adotados para os cálculos das remunerações a serem pagos aos Estados, municípios e órgãos da União pelas concessionárias produtoras de energia elétrica englobam apenas a área inundada em cada município, isto é, a área de remanso, ou as áreas dissociadas do reservatório para a produção de energia, por exemplo, casa de máquinas. Assim, especificamente em relação ao município de Jataizinho, os relatórios apontam que apenas a porção norte do município de Jataizinho está inserida na área atingida pelo remanso. Desse modo, as inundações do Rio Tibagi que ocorrem no sítio urbano de Jataizinho, localizado mais ao sul do município, não teriam relação com o remanso. Na prática, porém, os resultados desta pesquisa apontam que existe relação entre o regime de operação da UHE Capivara e as inundações do Rio Tibagi na área urbana de Jataizinho, embora de modo pontual.

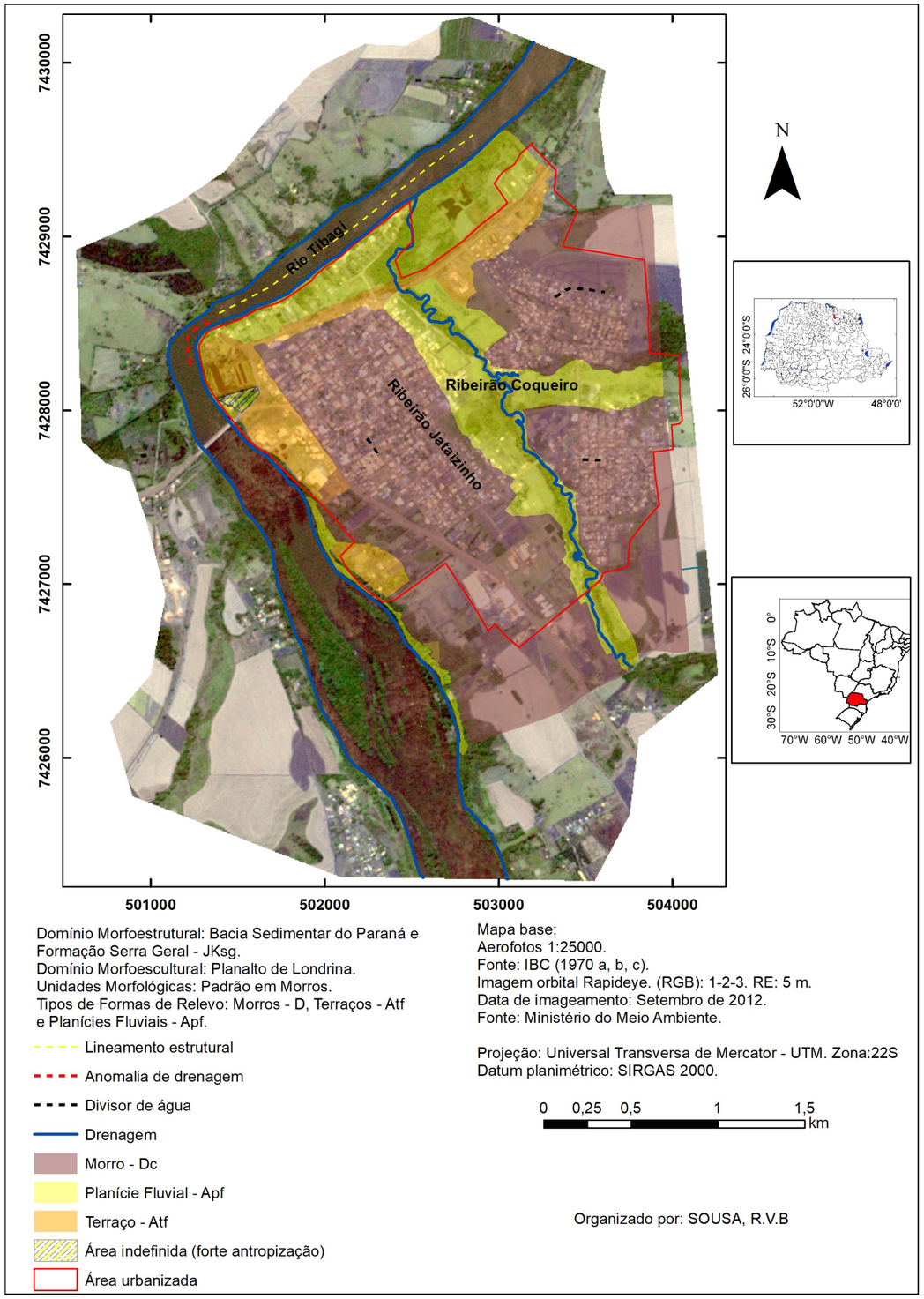
Os resultados obtidos abrem margem para um debate sobre a inclusão de novas variáveis para o cálculo dos coeficientes de áreas inundadas, entre estas, toda área impactada pelo regime de operação da usina hidrelétrica e não somente a área de remanso. Além disso, é necessário levar em consideração os danos materiais e, em algumas situações, os danos humanos, como óbitos causados pelas inundações, aspectos que consequentemente ocasionam ônus aos cofres públicos e perdas irreparáveis para algumas famílias. Há necessidade de compartilhar os prejuízos decorrentes das inundações com o poder público e com a operadora da usina hidrelétrica, em situações que sejam comprovadas a influência do regime de operação da usina hidrelétrica para a ocorrência do transbordamento do Rio Tibagi, potencializando a intensidade deste processo.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, portanto, podem ser úteis não apenas para melhor gestão dos riscos que acarretam inundações na cidade de Jataizinho, mas também para auxiliar uma melhor previsibilidade de interferência do regime de operação da UHE Capivara para o transbordamento do Rio Tibagi na cidade de Jataizinho. Além disso, a metodologia adotada pode auxiliar futuras pesquisas que trabalhem com a mesma temática em outros lugares do Brasil.

5.7 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO SÍTIO URBANO DE JATAIZINHO.

O mapeamento geomorfológico e a legenda expandida deste foram realizados com base nas obras de Ross (1992), Ross e Moroz (1997) e BRASIL (2009) (Figura 86).

Figura 86. Mapeamento geomorfológico do sítio urbano de Jataizinho.



Organizado por: SOUSA, R.V.B.

Legenda Expandida

Ordem	1° Taxon: Morfoestruturas	2º Taxon: Morfoesculturas	3º Taxon: Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes	4º Taxon: Tipos de Formas de Relevo
1	Bacias Sedimentares (Cenozóicas).	Planícies e terraços fluviais.	Formas agradacionais: Planícies fluviais e terraços.	Planícies Fluviais - Apf. Terraços - Atf.
2	Bacia Sedimentar do Paraná.	Planalto de Londrina.	Formas denudacionais: Morros.	Morros com topos convexos - Dc

Ordem	Litologia Predominante	Solos Predominantes
1	Sedimentos arenosos inconsolidados do Holoceno.	Os mapeamentos de solos feitos pelos institutos oficiais não detalham os tipos de solos que estão dispostos sobre as planícies fluviais e terraços, na área de estudo. Todavia, conforme análises granulométricas realizadas por Sousa (2012, p.166), verifica-se que a porcentagem de areia total é maior do que as frações silte e argila. Assim, estes locais podem ser interpretados como ambientes formados por sedimentos fluviais finos, tanto por sedimentos em suspensão – argila e silte – como por sedimentos que compõem a carga de leito do rio – areia, havendo, entretanto, a ocorrência principalmente da fração areia. Os resultados demonstraram que a gênese destes ambientes está relacionada a um processo de sedimentação aluvial.
2	Rochas magmáticas extrusivas da Formação Serra Geral - JKsg, Era Mesozóica, período Jurássico-Cretáceo, com idades de aproximadamente 140 ma. Presença de lineamentos estruturais e anomalias de drenagem.	Os NITOSSOLOS VERMELHOS da variedade eutroférrico, ou seja, com alta fertilidade natural, destacam-se na área de estudo. São solos minerais, não hidromórficos, bem drenados, profundos, com presença de horizonte B nítico; ou seja, apresentam cerosidade, com pequeno gradiente textural e sequência de horizontes A, Bt, C e textura argilosa. Também são solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio e derivados de rochas eruptivas básicas (BOGNOLA *et al,* 2002, p.71; STIPP, 2002, p.66 *apud* SOUSA, 2012, p.47).

	Morfometria	
Ordem	Altitudes predominantes	Declividades predominantes
1	Planícies Fluviais - Apf: 339 m a 342.5m. Terraços - Atf: 342.6 a 345 m.	Planícies fluviais - Apf: 0 a 3% (plano). Terraços - Atf: 3% a 8% (suave ondulado).
2	Morros - Dc: 345.1 m a 394.2 m.	Morros - Dc: 3% a 20% (suave ondulado a ondulado).

Verifica-se que as principais formas agradacionais mapeadas são planícies fluviais – Apf e terraços – Atf; enquanto as principais formas denudacionais mapeadas são morros com topos convexos – Dc.

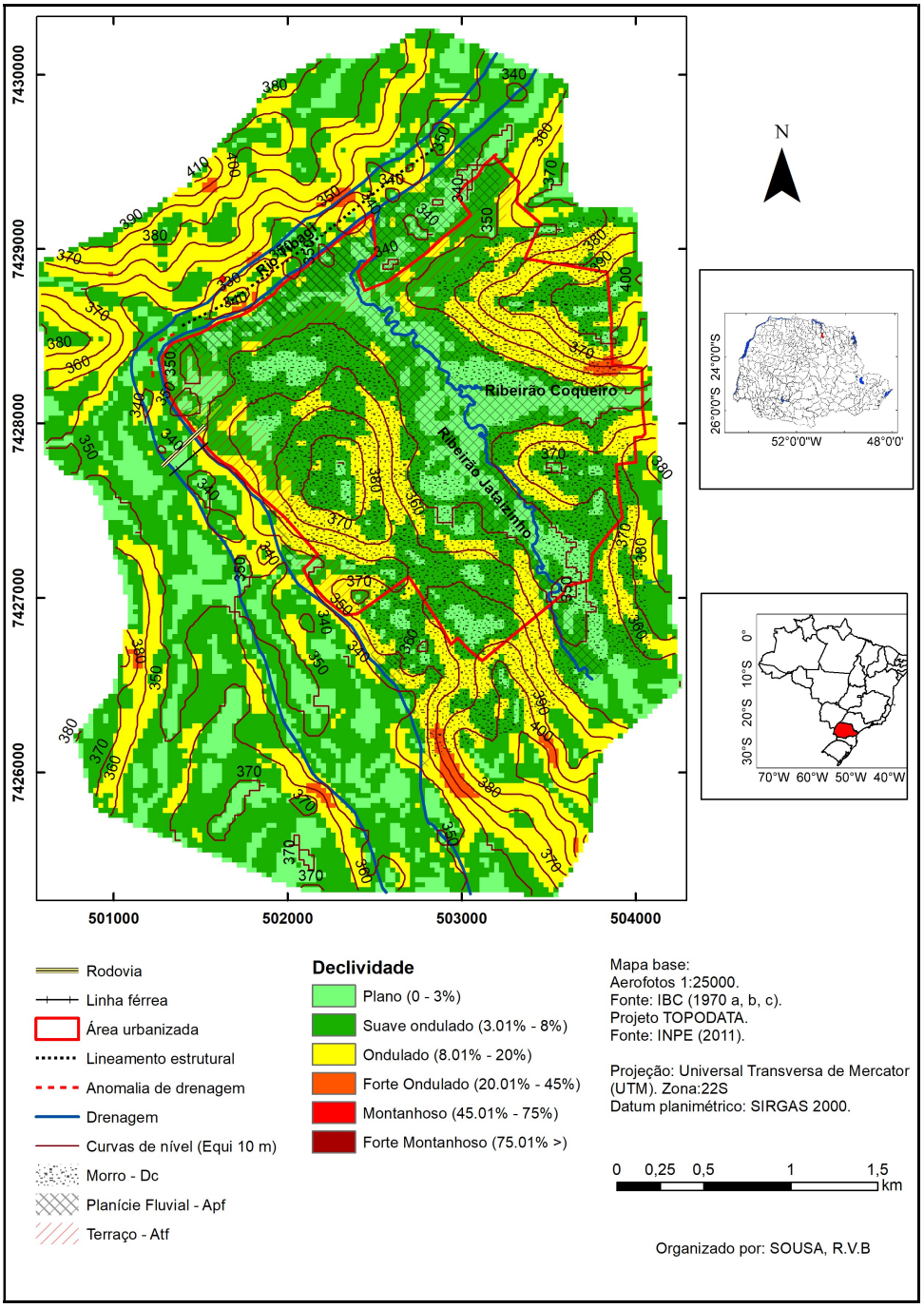
A morfoestrutura das formas denudacionais é a Bacia Sedimentar do Paraná; enquanto a morfoestrutura das formas deposicionais diz respeito a bacias sedimentares do Cenozóico.

Por sua vez, a morfoescultura das formas denudacionais é o Planalto de Londrina; já a morfoescultura das formas agradacionais são planícies e terraços fluviais.

Quanto à morfometria das formas de relevo mapeadas, os resultados apontam que as planícies fluviais – Apf – denotam altitudes entre 339 m e 342.5 m e declividades entre 0 e 3%; os terraços – Atf – apresentam altitudes entre 342.6 m e 345 m e declividades entre 3% e 8%; enquanto os morros – Dc possuem altitudes entre 345.1 m e 394.2 m e declividades entre 3% e 20%.

As classes de declividade foram obtidas com base em EMBRAPA (1979). O mapa de declividade do sítio urbano de Jataizinho pode ser evidenciado na (Figura 87).

Figura 87. Mapa clinográfico do sítio urbano de Jataizinho.



Organizado por SOUSA, R.V.B.

A litologia predominante das planícies fluviais e dos terraços diz respeito a sedimentos arenosos inconsolidados do Holoceno; enquanto a litologia predominante dos morros, com base em Petri; Fúlfaro (1983, p.235); DNPM (1984, p.347); Maack (1981, p.420); MINEROPAR (2001, p.15), diz respeito a rochas magmáticas extrusivas da Formação Serra Geral – JKsg – da Era mesozóica, período Jurássico-Cretáceo, datadas aproximadamente com idades de 140 ma.

Destaca-se que lineamentos estruturais e anomalias de drenagem são observados na área mapeada.

Os solos predominantes nas áreas agradacionais, conforme Sousa (2012, p.166), denotam maior porcentagem de areia total em detrimento das frações silte e argila. Assim, estes locais podem ser interpretados como ambientes formados por sedimentos fluviais finos, tanto por sedimentos em suspensão – argila e silte – como por sedimentos que compõem a carga de leito do rio – areia, havendo, entretanto, a ocorrência principalmente da fração areia. Os resultados demonstraram que a gênese destes ambientes está relacionada a processos de sedimentação aluvial.

Quanto aos solos predominantes nas áreas denudacionais, observam-se os NITOSSOLOS VERMELHOS da variedade eutroférrico, ou seja, com alta fertilidade natural (BOGNOLA *et. al,* 2002, p.71; STIPP, 2002, p.66 *apud* SOUSA, 2012, p.47).

A sobreposição das formas de relevo sobre a imagem orbital deixa evidente que as planícies fluviais – Apf –, adjacentes ao Rio Tibagi, Ribeirão Jataizinho e Ribeirão Coqueiro, são ocupadas por habitantes de Jataizinho, da mesma forma como alguns limites entre planície fluvial e terraço igualmente são ocupadas. Nesse sentido, a ocupação das planícies fluviais, com altitude entre 339 m e 342.5 m e declividades entre 0 e 3%, deve ser considerada um fator de grande relevância para os impactos socioeconômicos decorrentes das inundações, na cidade de Jataizinho.

Destaca-se que, em conjunto com as demais variáveis hidroclimáticas e antropogênicas responsáveis pelas inundações, na cidade de Jataizinho, a anomalia de drenagem do Rio Tibagi identificada no mapa geomorfológico, especificamente, o cotovelo, talvez tenha a capacidade de contribuir para a ocorrência de inundações mais bruscas. Assim, numa situação com alta taxa de precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do Tibagi, suficiente para provocar uma onda de cheia, a anomalia de drenagem teria a capacidade de estrangular a vazão de montante e aumentar a velocidade de fluxo a jusante, no trecho do Rio Tibagi controlado pelo lineamento estrutural, onde se localiza a principal área da cidade de Jataizinho afetada pelo transbordamento do Rio Tibagi e onde se localiza a seção transversal da estação fluviométrica Jataizinho. Essa hipótese ganha mais força,

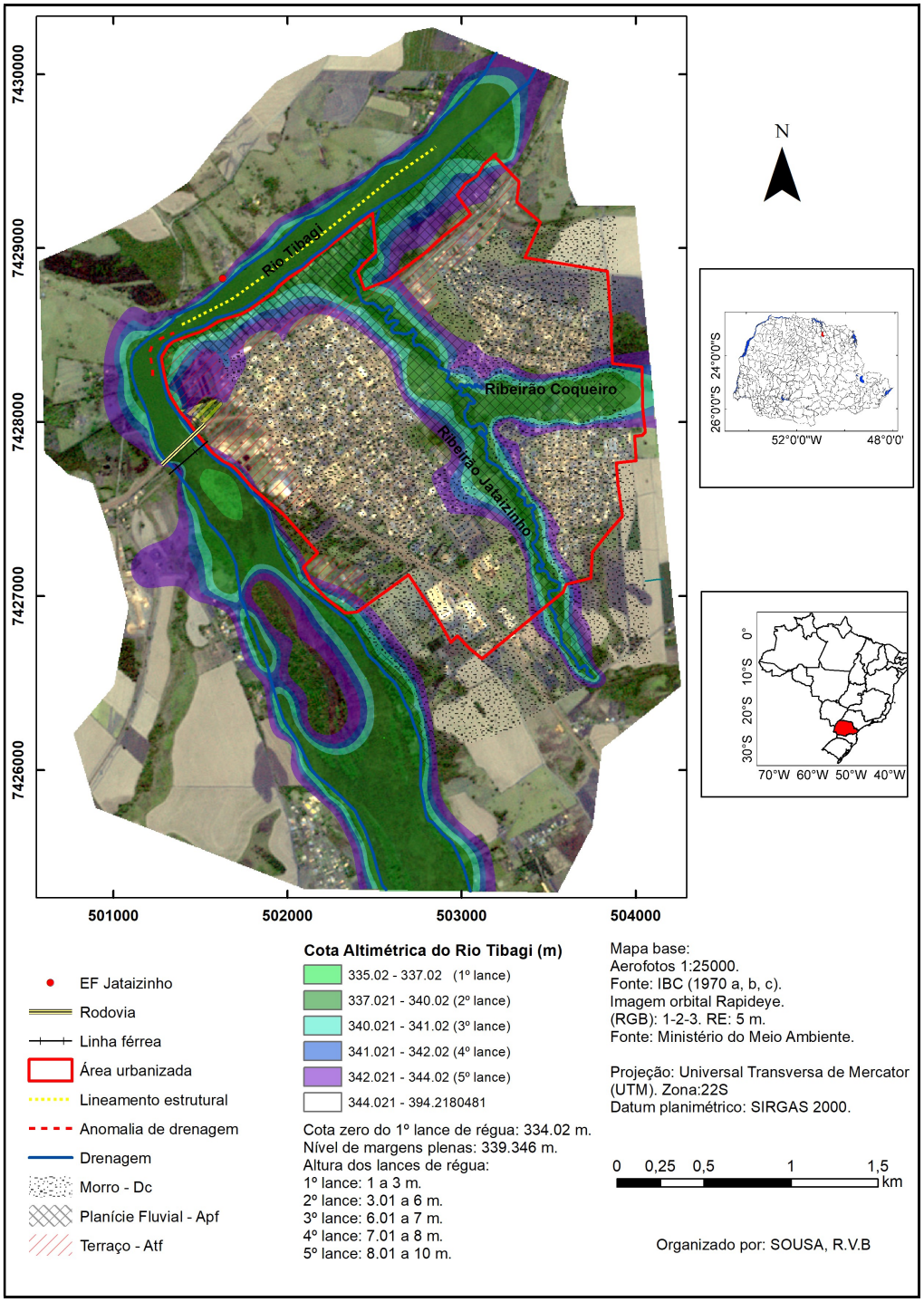
quando se faz um paralelo com os resultados de geometria hidráulica, especificamente, com o fato de que a velocidade média de fluxo do rio é a principal variável que ajusta a vazão na seção da estação fluviométrica Jataizinho.

5.8 ESPACIALIZAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS NO SÍTIO URBANO DE JATAIZINHO.

A interpolação dos dados altimétricos do terreno, obtidos por meio de estereoscopia digital e igualmente feita para as formas de relevo, permitiu simular o transbordamento do Rio Tibagi sobre o sítio urbano de Jataizinho. Essa simulação foi feita até a maior cota altimétrica do Rio Tibagi já registrada pela estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, a saber, 341.59 m.

Consequentemente, devido ao fato do Rio Tibagi e dos seus tributários que percorrem o sítio urbano de Jataizinho comporem um mesmo sistema, também foi possível visualizar a espacialização do transbordamento destes (Figura 88).

Figura 88. Espacialização das inundações na cidade de Jataizinho até a cota altimétrica 341.59 m.



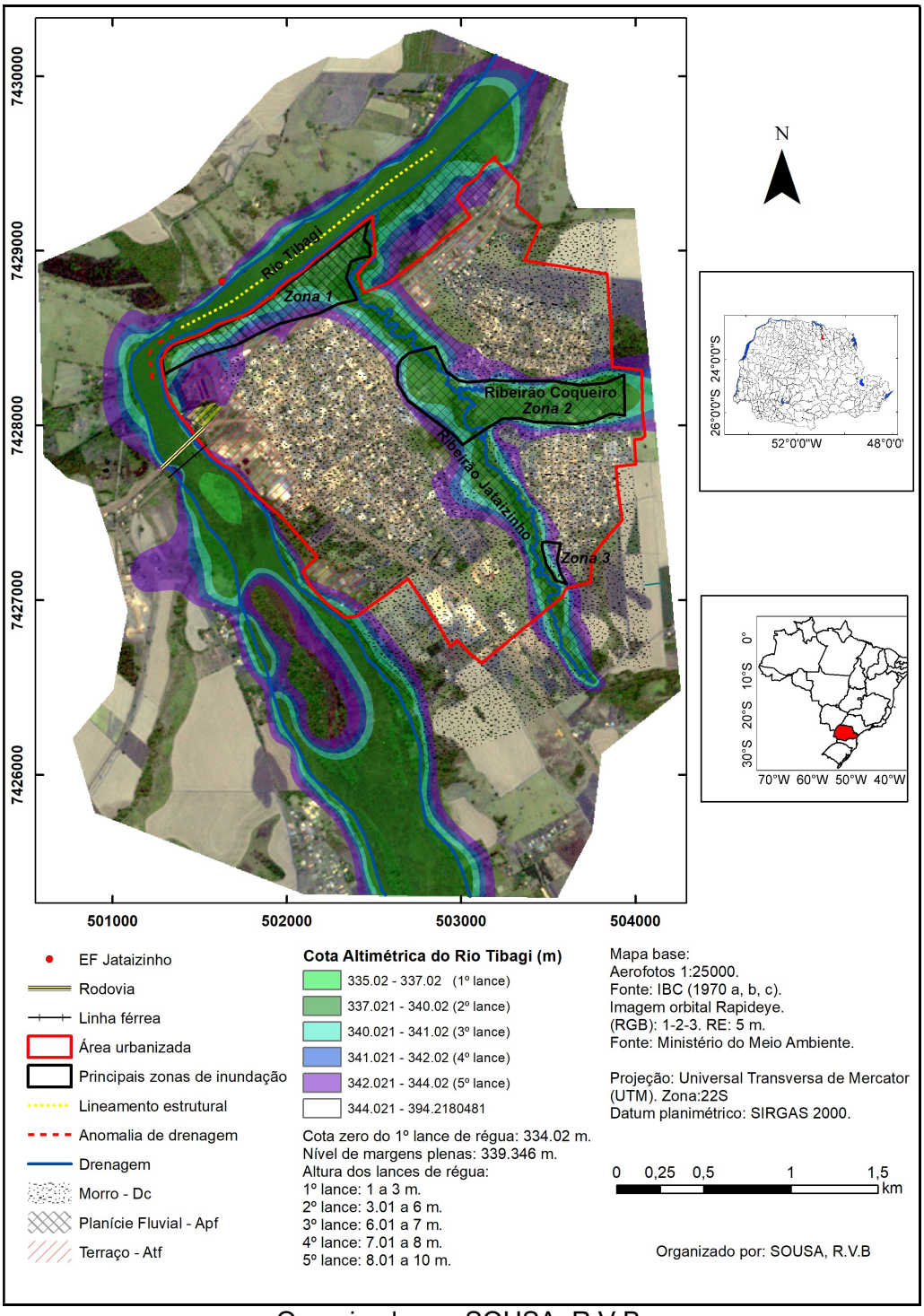
Organizado por SOUSA, R.V.B.

A sobreposição dos dados interpolados sobre as formas de relevo mapeadas aponta que as áreas inundadas correspondem, principalmente, às planícies fluviais, sendo que parte significativa destas são ocupadas por habitantes da cidade. Em bem menor quantidade, as áreas inundadas correspondem a terraços.

Verifica-se que algumas poucas áreas de contato entre morro e terraço ou morro e planície, apresentam-se como áreas inundadas. Esse fato ocorre devido a estas áreas de contato apresentarem pouca diferença na inclinação do relevo, o que fez com que durante o processo de interpolação dos dados, as mesmas fossem classificadas como áreas inundáveis. Estas áreas de contato, portanto, precisam ser analisadas com atenção, pois, também, mostram-se vulneráveis a inundações.

Sousa (2012) pontuou as áreas mais afetadas por inundações na cidade de Jataizinho. O cruzamento destas informações com os resultados obtidos nesta pesquisa possibilitou identificar três principais zonas afetadas por inundações – (Figura 89). A descrição dos locais inseridos em cada uma destas zonas pode ser observada no (Quadro 15).

Figura 89. Identificação das principais zonas afetadas por inundações na cidade de Jataizinho.



Organizado por SOUSA, R.V.B.

Quadro 15. Descrição dos locais inseridos em cada uma das principais áreas de inundação na cidade de Jataizinho.

Zona 1	Zona 2	Zona 3
Área ocupada por chácaras.	Vila Frederico Lucarewiski, bairro pobre. Área completamente inundada.	Proximidades do conjunto Antonio José Vieira.
Associação dos servidores municipais	Vila Bernardes, bairro pobre próximo à Vila Frederico Lucarewiski.	
	Conjunto Milton Félix. Conforme informações de funcionários da prefeitura, já houve óbitos nesse local em decorrência de enchentes.	

Fonte: Sousa (2012, p.150).

Acerca das inundações que ocorrem em Jataizinho, Sousa (2012, p.146) assevera que:

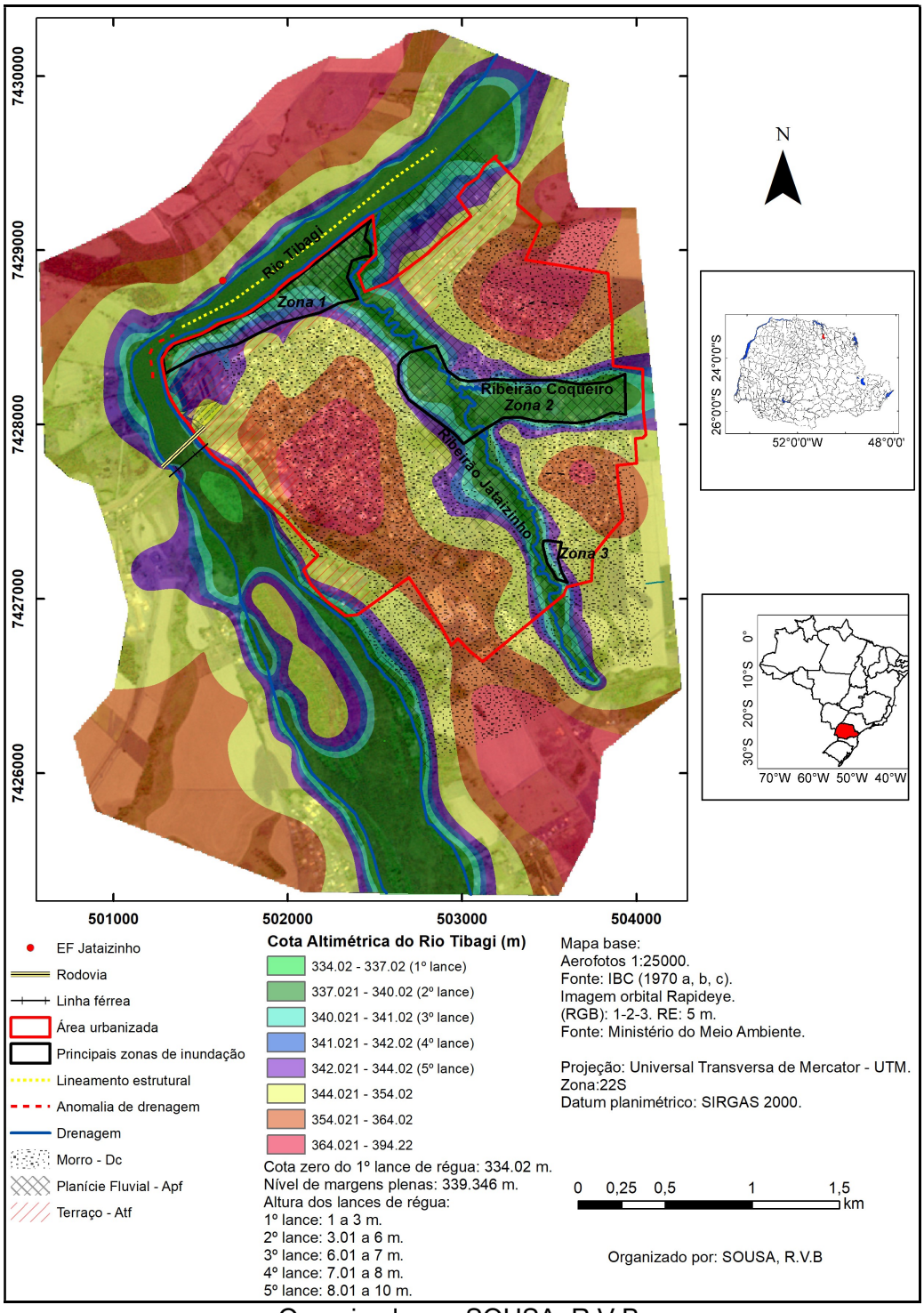
> Na cidade de Jataizinho, existem duas situações no que concerne à ocorrência de inundação. A primeira diz respeito ao transbordamento natural do rio Tibagi para o leito maior, ocupado de forma irregular, principalmente por chácaras, nas quais residem, em grande maioria, famílias de classe média. A segunda ocorre dentro da área urbana, sendo a origem do fenômeno o remanso que o ribeirão Jataizinho, tributário do rio Tibagi, sofre em decorrência do aumento do nível deste.

O autor continua:

> É na segunda situação em que os danos sociais e econômicos são mais contundentes, ocasionando perdas materiais para o município e para as famílias de bairros pobres como: o bairro Frederico Lukarewisk e Vila Bernardes. O último é considerado o ponto mais crítico, com ocorrência inclusive de óbitos. Conforme informações concedidas por funcionários da prefeitura de Jataizinho, o prejuízo causado à cidade em janeiro de 2010, em decorrência de inundações, superou o montante de um milhão de reais (SOUSA, 2012, p.146).

A simulação das áreas inundadas que se encontram altimetricamente acima da maior cota altimétrica do Rio Tibagi já registrada, a saber: 341.59 m, e pode ser averiguada na (Figura 90).

Figura 90. Espacialização das inundações na cidade de Jataizinho superior a cota altimétrica 341.59 m.



Organizado por SOUSA, R.V.B.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

No cômputo geral, os resultados corroboram a hipótese desta pesquisa de que, em determinadas situações, o regime de operação da UHE Capivara ocasiona maior retardamento do fluxo natural do Rio Tibagi, intensificando, portanto, algumas inundações na cidade de Jataizinho. A participação do regime de operação da UHE Capivara neste processo se dá de forma pontual, logo, a maioria das inundações do Rio Tibagi é de ordem natural. Ressalta-se que, devido aos regimes do reservatório de Capivara e do Rio Tibagi serem distintos, respectivamente regime permanente e regime não permanente, não foi possível tomar como base o gradiente hidráulico para explicar a participação do regime de operação da UHE Capivara em algumas inundações na cidade de Jataizinho.

A metodologia adotada permitiu alcançar o objetivo geral desta pesquisa, qual seja, avaliar as variáveis determinantes para a ocorrência de inundações, na cidade de Jataizinho, através de um relacionamento hidrométrico, visando compreender se estas variáveis dizem respeito somente a causas naturais ou se há influência do regime de operação da UHE Capivara para o transbordamento do Rio Tibagi. Destaca-se, ainda, que, o relacionamento hidrométrico foi feito de modo quantitativo e qualitativo, obtendo resultados indicativos de que: a) a principal variável responsável pelo transbordamento do Rio Tibagi é a precipitação, b) a influência do regime de operação da UHE Capivara para o transbordamento do Rio Tibagi, na cidade de Jataizinho, ocorre de forma pontual e c) nem todas as inundações na cidade de Jataizinho são decorrentes do transbordamento do Rio Tibagi. Acerca das considerações referentes aos objetivos específicos, estas serão apresentadas a seguir.

A análise da variabilidade dos dados de vazão do Rio Tibagi apontou que este possui dois períodos hidrológicos – PH, a saber: PH1, entre 1932 e 1969, e PH2, a partir de 1970. O PH2 mostrou maiores valores de vazão, maior variabilidade e maiores ocorrências de transbordamento do Rio Tibagi. Essas características observadas no PH2 apresentaram boa relação com alguns índices climáticos, como o Índice de Oscilação Sul – IOS, da região niño 3.4, especificamente para a fase negativa da Oscilação Sul, isto é, durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* e o índice da Oscilação Decadal do Pacífico – ODP. A análise qualitativa dos registros

históricos, especificamente, a relação entre as matérias de jornais sobre as inundações na cidade de Jataizinho com os índices climáticos IOS e ODP, apontou que 67% das matérias analisadas coincidem com a ocorrência de episódios de *El Niño.* Entretanto, a maior quantidade de transbordamento do Rio Tibagi, durante o PH2, não pode ser entendida como consequência única e diretamente da maior atuação desses padrões de teleconexão, na medida em que outros fatores, por exemplo, mudança de cobertura da terra, podem estar influenciando esse processo. Nesse sentido, vale mencionar que com base no levantamento bibliográfico realizado, o Estado do Paraná apresentava, em 1895, áreas com matas nativas em torno de 84 %; e, em 1987, detinha apenas uma estimativa de 2.5%. Destaca-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi sofreu intenso processo de fragmentação e desmatamento ao longo do século XX, principalmente após as décadas de 1930 e 1940 devido às circunstâncias econômicas vivenciadas no período, somando-se o fato de possuir solos férteis e uma elevada aptidão agrícola, bem como condições climáticas favoráveis à lavoura.

As estatísticas de teste das regressões lineares múltiplas apontaram que as inundações do Rio Tibagi na cidade de Jataizinho foram de ordem natural, de modo que a precipitação foi considerada a principal variável responsável pelas ocorrências do transbordamento do Rio Tibagi. Porém, ao se comparar os modelos de todos os cenários analisados, verificou-se que a diferença do valor *t* entre as variáveis explicativas que constitui cada modelo é menor no cenário 4. Especificamente, esta diferença foi de 1.92 no cenário 1, aproximadamente 3 no cenário 2 e 1.48 no cenário 4. Assim, a variável referente ao nível do reservatório de Capivara apresenta melhora no ajuste com a variável resposta, no cenário 4, sendo esta uma informação relevante, mesmo a variável precipitação sendo a que melhor se ajusta nos modelos de todos os cenários. A nível de esclarecimento, a variável resposta refere-se à cota altimétrica da estação fluviométrica de Jataizinho.

Sob outra perspectiva de investigação, ao se analisar os hidrogramas referentes aos episódios de inundação, constatou-se que um dos quatorze hidrogramas, especificamente, o hidrograma 3, apresentou uma anomalia, denotando indício de influência do regime de operação da UHE Capivara, para a ocorrência ou intensificação da inundação do Rio Tibagi. Nesse sentido, pode-se dizer que a influência do regime de operação da UHE Capivara, para a ocorrência

ou intensificação de inundação do Rio Tibagi, no sítio urbano de Jataizinho, se dá de forma pontual e, devido a isso, torna-se difícil identificar esta influência através de modelos matemáticos. Dessa forma, pode-se dizer que as inundações do Rio Tibagi, na cidade de Jataizinho, principalmente, a partir do PH 2, devem ser investigadas sobre uma perspectiva sistêmica-complexa, tendo em vista que as particularidades das inundações não permitem avaliá-las por meio de modelos generalizantes. Os episódios de inundação podem e devem ser analisados conjuntamente, mas, também, separadamente.

Entretanto, é necessário destacar que há uma lacuna nos dados hidrológicos da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000, entre outubro de 2009 e julho de 2013, não havendo registros destes dados, tanto no hidroweb como na Superintendência de Gestão de Rede Hidrometeorológica SGRH/ANA, fato que causa certa estranheza, posto que neste mesmo período foram encontradas quatro matérias de jornais: 21/06/2012, 22/06/2012, 26/06/2013 e 27/06/2013 e, também, quatro registros da Defesa Civil: 19/10/2009, 29/01/2010, 19/06/2012 e 25/06/2013, acerca das inundações em Jataizinho. Convém destacar que esta estação fluviométrica é mantida pela operadora da UHE Capivara. Assim, as causas das inundações deste período sem dados hidrológicos não puderam ser investigadas, deixando, evidentemente, dúvidas sobre os reais motivos para a ocorrência das inundações.

Além disso, ressalta-se que a análise em conjunto das matérias de jornais, dos registros da Defesa Civil e das cotas altimétricas do Rio Tibagi referentes à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 –, demonstrou que nem todas as inundações são decorrentes do transbordamento do Rio Tibagi, mas, também, decorrentes do transbordamento do Ribeirão Jataizinho, tributário do Rio Tibagi que passa pelo sítio urbano de Jataizinho. Nessa perspectiva, a relação entre o mapeamento geomorfológico e a espacialização das cotas altimétricas de transbordamento do Rio Tibagi e de seus tributários permitiu identificar que muitas planícies fluviais – Apf – são ocupadas por habitantes da cidade de Jataizinho. Assim, independente das causas responsáveis pelo transbordamento dos canais fluviais, essa constatação tem um peso significativo no que concerne aos impactos socioeconômicos decorrentes das inundações na cidade de Jataizinho.

Destaca-se que, em conjunto com as demais variáveis hidroclimáticas e antropogênicas responsáveis pelas inundações, na cidade de Jataizinho, a anomalia de drenagem do Rio Tibagi identificada no mapa geomorfológico, especificamente, o cotovelo, talvez tenha a capacidade de contribuir para a ocorrência de inundações mais bruscas. Assim, numa situação com alta taxa de precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do Tibagi, suficiente para provocar uma onda de cheia, a anomalia de drenagem teria a capacidade de estrangular a vazão de montante e aumentar a velocidade de fluxo a jusante, consequentemente a vazão e a cota altimétrica do canal fluvial, no trecho do Rio Tibagi controlado pelo lineamento estrutural, onde se localiza a principal área da cidade de Jataizinho afetada pelo transbordamento do Rio Tibagi.

Outro ponto a ser destacado é que, a partir de 23/11/2012, a UHE Mauá entrou em operação, a qual está localizada no médio curso do Rio Tibagi, no município de Telêmaco Borba, a montante do município de Jataizinho, este situado no baixo curso do Tibagi. Dessa forma, a análise das inundações em Jataizinho, a partir da data de início de operação da UHE Mauá, torna-se mais complexa, na medida em que o regime de operação da UHE Mauá configura-se em uma nova variável no sistema fluvial. Embora os dados hidrométricos referentes à UHE Mauá sejam escassos e de difícil acesso.

Acerca da técnica desenvolvida nessa pesquisa para analisar a consistência dos dados de vazão, a saber, o Índice de Consistência de Vazão – ICV –, apesar da técnica ter apresentado bons resultados, esta necessita de ajustes no nível de corte para enquadramento dos dados inconsistentes.

Com relação à técnica desenvolvida nessa pesquisa para avaliar a variabilidade da vazão em hidrelétricas, a saber, o Índice de Razão de Vazão – IRQ – esta se mostrou muito eficiente para os objetivos pretendidos e pode ser aplicada em pesquisas futuras. Além disso, a técnica tem potencial para ser aplicada em estudos correlatos, por exemplo, avaliação do balanço de massa simplificado em reservatórios, avaliação da variabilidade da produção energética em hidrelétricas, entre outras aplicações consideradas pertinentes.

Como recomendações, são indicadas algumas medidas não estruturais de monitoramento e de investigação, a fim de mitigar os impactos socioeconômicos decorrentes das inundações na cidade de Jataizinho, a saber:

- Instalar estações fluviométricas para o registro das cotas fluviométricas dos rios que passam pela área urbana da cidade de Jataizinho, principalmente o Ribeirão Jataizinho, tributário do Rio Tibagi, e o Ribeirão Coqueiro, tributário daquele; e estabelecer níveis de alerta das cotas fluviométricas destes canais fluviais;
- Utilizar, como referência de nível de transbordamento do Rio Tibagi, o nível de margens plenas deste canal fluvial calculado na presente pesquisa, a saber: 339.346 m ou 532.6 cm na régua linimétrica, sendo a cota zero do primeiro lance de régua 334.020 m; e, a partir desses valores, estipular nível de alerta de inundação do Rio Tibagi mais preciso, tendo em vista que esses valores foram obtidos por meio de técnicas *GNSS* e de aerofotogrametria digital;
- Realizar estudos de batimetria no Rio Tibagi, nas adjacências da cidade de Jataizinho, a fim de detalhar com precisão a variação altimétrica da seção da estação fluviométrica de Jataiznho, e detalhar com precisão a variação altimétrica do leito do Rio Tibagi em seu perfil longitudinal, no mínimo, no trecho entre a linha férrea, anomalia de drenagem e término do lineamento estrutural;
- Utilizar o mapeamento geomorfológico executado nesta pesquisa, em conjunto com outros produtos cartográficos e planos de gestão já desenvolvidos pela prefeitura de Jataizinho, como ferramenta de apoio ao planejamento territorial desta cidade;
- A partir dos hidrogramas de inundação no período de cheia, isto é, entre outubro e março, constatou-se que um total acumulado de 70 mm de precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do Tibagi, em uma média de 3 dias, pode ocasionar transbordamento do Rio Tibagi na cidade de

Jataizinho; enquanto, para os hidrogramas de inundação no período de vazante, isto é, entre abril e setembro, um total acumulado de 82 mm de chuva sobre a Bacia Hidrográfica do Tibagi, em uma média de 4 dias, pode ocasionar transbordamento do Rio Tibagi. Assim, utilizando essas informações em conjunto com dados de cota fluviométrica do Rio Tibagi, especificamente da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, e com dados de precipitação obtidos por modelos meteorológicos regionais, ambos disponíveis gratuitamente, é possível avaliar com antecedência a possibilidade de ocorrer transbordamento do Rio Tibagi na cidade de Jataizinho[17];

- Tendo em vista que o regime de operação da UHE Capivara pode influenciar a ocorrência de inundação na cidade de Jataizinho, embora, de forma pontual, convenha observar as anomalias do nível do Rio Tibagi, como aumentos ou diminuições súbitas do nível, ou altitudes não habituais atingidas pelo nível do rio, tal qual o topo da estrutura que sustenta a linha férrea sobre o Rio Tibagi, entre Ibiporã e Jataizinho, o que poderia indicar possível retardo da vazão. Vale destacar que esse ponto ou alvo de referência foi calculado nesta pesquisa por meio de técnicas *GNSS* e de topografia, resultando em uma altitude de 349.673 m.

- Tendo em vista que o regime de operação da UHE Mauá, a partir de 23/11/2012, configura-se em uma nova variável no sistema fluvial do Rio Tibagi, recomenda-se que, para

[17] Para o cálculo da precipitação média da Bacia Hidrográfica do Tibagi poderão ser utilizados os seguintes dados: a) áreas dos polígonos de Thiessen calculados nesta pesquisa, caso seja adotado o método de Thiessen, e b) dados de precipitação obtidos em modelos regionais de previsão meteorológica, como: Eta (3 dias, 5 x 5 km), Eta (3 dias, 15 x 15 km) e BRAMS (3 dias, 5 x 5 km), entre outros disponíveis em Brasil (2017), especificamente no *site* do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC / INPE. Quanto aos dados de cota fluviométrica e vazão da estação fluviométrica de Jataizinho – 64507000, estes poderão ser adquiridos com periodicidade diária, em intervalos das últimas 4h, 8h, 12h, 24h e 96h, em ANA (2017). Entretanto, para a previsão da vazão, caso haja interesse, recomenda-se utilizar algum modelo hidrológico, aspecto não abordado na presente pesquisa.

pesquisas futuras, o regime de operação dessa hidrelétrica seja uma variável a ser investigada no que diz respeito ao entendimento da gênese de inundações bruscas do Rio Tibagi na cidade de Jataizinho.

REFERÊNCIAS

AFIFI, Abdelmonem; MAY, Susanne; CLARK, Virginia A. *Practical multivariate analysis***:** Texts in statistical science. New York: CRC Press. 5ªed, 2012, p.3-58.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Cadernos de recursos hídricos - Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil.* Brasília – DF: ANA, 2005b, 123p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 01 nov. 2009.

_____. *Glossário de termos hidrológicos.* Brasília - DF: ANA - Superintendência de Informações Hidrológicas (SIH), 2001. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 01 nov. 2009.

_____. *HidroWeb. Sistema de Informações* Hidrológicas**.** 2005. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2009.

_____. Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR. 2016. Disponível em: <http://sar.ana.gov.br/>. Acesso em: 20.dez.2015.

_____. *Sistema de Monitoramento Hidrológico*. Disponível em: < http://mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/ultimo.aspx?dado=Nivel&nivel=3&bacia=64&origem=3>. Acesso em: 22 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *A compensação financeira e o seu município.* 2007. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/cartilha_compensacao_financeira_2.pdf. Acesso em: 30.nov.2011.

_____. *Compensação financeira.* 2011. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=42&idPerfil=2&idiomaAtual=0>. Acesso em: 30.nov.2011.

_____. Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico – SIGEL. 2015. Disponível em: <http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>. Acesso em: 10.fev.2015.

AICARDI, Irene *et al.* A didatic Project for landscape heritage mapping in post-disaster management. *Applied Geomatics.* v.7, n.1, p.49-60.

AKAIKE, Hirotugu. Statistical predictor identification. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*. 22:203–217, 1969.

_____. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle In: B. N. Petrov and S. Caski, editors. *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*. Akademiai Kaido, Budapest, Hungary, p.267–281, 1973.

_____. A Bayesian analysis of the minimum AIC procedure. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics* 30:9–14, 1978.

AMARAL, Lêda Leão do *et al.* Tipos de vegetação nos biomas brasileiros e seu inventário florístico. In: MOREIRA, Fátima M. S; CARES, Juvenil E; ZANETTI, Ronald; STÜRMER, Sidney. *O ecossistema solo:* Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ed. UFLA, 2013, p.96.

ARAÚJO, Alex P. de. ROCHA, Paulo C. Regime de fluxo e alterações hidrológicas no rio Tibagi – bacia do rio Paranapanema / alto Paraná. *Revista de Geografia (Recife)*, n.3, set., 2010.

_____. Dinâmica fluvial e regime hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema, 2011, 197pp. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP.

AVTAR, Ram; SAWADA, Haruo. Use of DEM data to monitor height changes due to deforestation. *Arab J Geosci*, v.6, p.4859–4871, 2013.

BARROS, Mirian. V. F; MENDONÇA, Francisco de A. Uso e ocupação do solo. In: STIPP, Nilza A. F. (Org.). *Macrozoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Tibagi (PR).* Londrina: EDUEL, 2000, p.83-96.

BERTONI, Juan C; TUCCI, Carlos E. M. Precipitação. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). *Hidrologia:* Ciência e Aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.183-188.

BOTELHO, Rosangela G. M (Org.). *Erosão e conservação dos solos:* Conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p.60.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. 2014b. Disponível em: < http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10 jul. 2014.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Manuais técnicos em geociências. Manual técnico de geomorfologia.* 2. ed, n.5. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2009.

_____. *Atlas do Brasil*: Clima. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/atlas/atlas_nacional_do_brasil_2010/2_territorio_e_meio_ambiente/atlas_nacional_do_brasil_2010_pagina_77_clima.pdf>. Acesso em: 16.jan.2015.

_____.*Censo demográfico 2010.* Disponível em: < http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411270&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas >. Acesso em: 10 jul. 2015.

_____. *Geodésia.* Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>. Acesso em: 01/07/2012.

_____. *Geodésia: Modelo de ondulação geoidal. MAPGEO 2010, versão 1.0.* 2015. Disponível em: <

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>. Acesso em: 15/05/2015.

BRASIL. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. IBGE – Região Sul do Brasil. *Cornélio Procópio.* Folha: SF-22-Z-C-I-3. Escala: 1:50.000. MI: 2759-3, 1991a. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2013.

_____. *Uraí*: Folha SF-22-Z-C-I-1. Escala: 1:50.000. MI: 2759-1, 1991b. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2013.

_____. *Assaí*: Folha SF-22-Z-C-I-3. Escala: 1:50.000. MI: 2759-3, 1991c. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2013.

BRASIL. Ministério do Exército. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. Região Sul do Brasil. *Londrina*. Folha: SF-22-Y-D. Escala: 1:50.000. MI: 2758-4, 1996. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2013.

BRASIL. Ministério Nacional da Integração. *Codificação brasileira de desastres – COBRADE.* Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/defesa-civil/cenad/entenda-os-desastres?inheritRedirect=true>. Acesso em: 10 out. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas – ANA.. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. *Mapa de vulnerabilidade a inundações – Brasil.* Brasília: ANA, 2015a. Disponível em: < http://www2.snirh.gov.br/home/webmap/viewer.html?webmap=cf201bd9b2c540fa951b0619006eb2af>. Acesso em: 10 jul. 2015.

_____. *Atlas de vulnerabilidade a inundações – Região Sul.* Brasília: ANA, 2015b. Disponível em: < http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 10 jul. 2015.

_____. *Geo Catálogo*. 2014a. Disponível em:< http://geocatalogo.ibama.gov.br/>. Acesso em: 14/07/2014.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. IBGE – Superintendência de Cartografia. Departamento de Cartografia. *Esperança do Norte*: Folha SF-22-Y-B-VI-1. Escala: 1:50.000. MI: 2729-1, 1973a.

_____. *Paranaji*: Folha SF-22-Z-A-IV-3. Escala: 1:50.000. MI: 2730-3, 1973b.

_____. *Bela Vista do Paraíso*: Folha SF-22-Y-B-VI-4. Escala: 1:50.000. MI: 2729-4, 1973c;

_____. *Cornélio Procópio*. Folha: SF-22-Z-C. Escala: 1:250.000. MIR 497, 1976. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2010.

BRASIL. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. IBGE – Diretoria de Geodésia e Cartografia. Superintendência de Cartografia. *Londrina*. Folha: SF-22-Y-D. Escala: 1:250.000, 1977. MIR 496. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Marília*. Folha: SF-22-Z-A. Escala: 1:250.000. MIR 486, 1979a. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. Superintendência de Cartografia. *Presidente Prudente*. Folha: SF-22-Y-B. MIR 485. Escala: 1:250.000, 1979b. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2010.

_____. *Iepê*: Folha SF-22-Y-B-VI-2. Escala: 1:50.000. MI: 2729-2, 1975.

BRASIL. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. *Previsão numérica.* Disponível em: < http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 22 ago. 2017.

BURNHAM, Kenneth P; ANDERSON, David R. *Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretical Approach*. New York: Springer-Verlag, 1998.

CALOIERO, Tommaso *et al.* Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy). *International Journal Of Climatology.* v.31, n.1, p.44-56, 2011.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio M. V. Conceitos básicos em ciência de geoinformação**.** In: CÂMARA, Gilberto *et. al.* (Org.). *Introdução à ciência da geoinformação***.** DPI / INPE, entre 1990 e 2009, p.2-27. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 20 mar.2010.

CARMO, Edilson, J do; RODRIGUES, Dalto D; SANTOS, Gerson R. Avaliação dos interpoladores krigagem e topo to raster para geração de modelos digitais de elevação a partir de um "as built". *Bol. Ciênc. Geod.,* sec. Artigos, Curitiba, v.21, n.4, p.674-690, out-dez, 2015. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400039>. Acesso em: 14 jul.2017.

CAVALCANTI, Iracema F. A; AMBRIZZI, Tércio. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: ALBUQUERQUE, Iracema. F de; FERREIRA, Nelson J; SILVA, Maria G. A. J da; DIAS, Maria A. F. da S (Org.). *Tempo e clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.317,320.

CHEN, Yangbo *et al.* Urban flood risk warning under rapid urbanization. *Environmental Research.* v.139, p.3-10, 2015.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. *Geomorfologia fluvial.* São Paulo: Edgar Blücher, 1981, p.93.

_____. *Geomorfologia.* 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, p.1-105.

_____. *Modelagem de sistemas ambientais.* São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

CLARKE, R. T; TUCCI, C. E. M; COLLISCHONN, W. Variabilidade temporal no regime hidrológico da Bacia do Rio Paraguai, *Revista. Brasileira Recursos Hídricos*, v.8, n.1, 2003.

COELHO, C. A. S. *Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a Temperatura de Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico durante*

períodos extremos de El Niño Oscilação Sul, Dissertação (Mestrado), Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo, 2001.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. *Introduzindo hidrologia.* Rio Grande do Sul: UFRGS – IPH, 2008, p.166-199.

COMPAGNUCCI, Rosa H; VARGAS, Walter M. Inter-annual variability of the Cuyo rivers' streamflow in the argentinean andean mountains and ENSO events. *International Journal of Climatology,* v.18, n.14 p.1593-1609, 1998.

CORRÊA, A. R; GODOY, H; BERNARDES, L. R. M. *Características climáticas de Londrina:* (circular IAPAR), 2. ed, Londrina: IAPAR, 1982, p.5-16.

COSTA, Sonia M. A; *et. al.* RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. *Anais... Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação 2.* Recife: 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos/index.php>. Acesso em: 01/07/2012.

CUNHA, Sandra B da. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, Antonio J. T; _____(Org.). *Geomorfologia:* Uma atualização de bases e conceitos. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p.212.

DALRYMPLE, T. Flood characteristics and flow determination. Chapter 25-I In: *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1964, p.2.

DEBORTOLI, Nathan S. *O regime de chuvas na Amazônia Meridional e sua relação com o desmatamento.* 2013. 217p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável e Geografia) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, com co-tutela em Universite Rennes 2, Haute Bretagne.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. 2015. Disponível em: < http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em: 15.fev.2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. *Geologia do Brasil.* Brasília: 1984, p.341 – 347.

DOMINGUES, Felipe A. A. *Topografia e astronomia de posição: Para engenheiros e arquitetos.* São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1979, p.147-239.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da 10º Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: 1979, 83pp.

FLORENZANO, Teresa G. *Imagens de satélite para estudos ambientais.* São Paulo: Oficina de Textos, 2002, p.9.

FRANÇA, Valmir de. *Análise das influências dos pulsos das inundações no geossistema da sub-bacia do alto curso do rio Paraná, região de Porto Rico (PR) e Taquaraçu (MS) – por meio de teledetecção espacial,* 1998. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, *p.71-79.*

_____. O rio Tibagi no contexto hidrogeográfico paranaense. In: MEDRI, Moacyr E., *et al.* (Ed). *A Bacia do Rio Tibagi.* Londrina: 2002, p.45-61.

GAO, Z *et l.* Trends of streamflow, sediment load and their dynamic relation for the catchments in the middle reaches of the Yellow River over the past five decades. *Hydrology and Earth System Sciences.* v.16, n.9, p.3219-3231, 2012.

GARCIA-TEJERO, Francisco D. *Topografía general y aplicada.* 13ªed. Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 1998, p.285.

GERARDI, Lúcia. H. de O. SILVA, Bárbara-Christine N. *Quantificação em Geografia*. São Paulo: DIFEL, 1981, p.34.

GOMES, Paulo C. da C. *Geografia e Modernidade.* 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p.17-92.

GRIMM, Alice M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: ALBUQUERQUE, Iracema *et al.* (Org.). *Tempo e clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.353-360.

GROPPO, Juliano D *et al.* Análise do efeito de operação das barragens do sistema Cantareira no regime hidrológico do rio Piracicaba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos,* v.14, n.1, jan/mar, p.41-51, 2009.

GUERRA, Antonio J. T. Degradação dos solos: Conceitos e temas. In: _____. JORGE, Maria do C. O (Org.). *Degradação de solos no Brasil.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014a, p.18-35.

_____. O início do processo erosivo. In: GUERRA, Antonio J. T; SILVA, Antonio S. da; BOTELHO, Rosangela G. M (Org.). *Erosão e conservação dos solos:* Conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014b, p.60.

GUERRA, Antônio T; _____. *Novo dicionário geológico-geomorfológico.* 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p.29.

HASEGAWA, Julio. K. *Simulador digital do restituidor analógico***:** Orientação e restituição fotogramétrica digital baseada em técnicas analógicas. Presidente Prudente: FCT – UNESP, 2010, 60p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ – IBC. *Projeto PR. Aerofoto 10795.* Faixa 98 A. Quadrícula: SF.22 – Z – C – I. 1970 a.

_____. *Projeto PR. Aerofoto 10796.* Faixa 98 A. Quadrícula: SF.22 – Z – C – I. 1970 b.

_____. *Projeto PR. Aerofoto 10797.* Faixa 98 A. Quadrícula: SF.22 – Z – C – I. 1970 c.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo.* 1:500.000, 1981.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. *SPRING – Informações conceituais – SPRING 5.0 (versão Windows).* INPE, 2009a. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>. Acesso em: 01 jan. 2010.

_____. *TOPODATA:* Banco de dados geomorfométricos do Brasil. INPE, 2011. Disponível em:< http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 10 mai. 2015.

_____. *SPRING – Tutorial 10 aulas – SPRING 5.0 (versão Windows).* INPE, 2009b. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>. Acesso em: 01 jan. 2010.

JISAO. *Climate Data Archive***.** USA: University of Washington. Disponível em: < http://jisao.washington.edu/data-climate_data_archive>. Acesso em: 05 jul. 2015.

JOHNSON, Richard A; WICHERN, Dean W. *Applied multivariate statistical analysis.* 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 767pp, 2007.

JUNK, Wolfgang; BAYLEY, Peter B; SPARKS, Richard E. The flood pulse concept in river-floodplain systems, p.110-127. In: D. P. Dodge [ed.] *Proceedings of the International Large River Symposium.* Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106.

KARMANN, Ivo. *Ciclo da Água, Água Subterrânea e sua Ação Geológica*. In: TEIXEIRA, Wilson. TOLEDO, M. C. M. [et al.] *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003, p.114 -115.

KAYANO, Mary T; ANDREOLI, Rita V. Variabilidade decenal a multidecenal. In: ALBUQUERQUE, Iracema. F de; FERREIRA, Nelson J; SILVA, Maria G. A. J da; DIAS, Maria A. F. da S (Org.). *Tempo e clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.375-378.

_____; _____. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *International Journal Climatology,* n.27, p.531-540, 2006.

LANE, S. N *et al.* Photogrammetric and laser altimetric reconstruction of water levels for extreme flood event analysis. *Photogrammetric. Record.* v.18, n.104, p.293–307, 2003.

LANNA, Antonio E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, Carlos E. M (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação.* 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.101.

LATRUBESSE, E. M; STEVAUX, J. C; SINHA, R. Tropical rivers**.** *Geomorphology*, v.70, p.187-206, 2005.

LATUF, Marcelo de O. *Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Acre.* Tese (Doutorado em Geografia), 2011. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente – FCT/UNESP, Presidente Prudente, p.78.

LEOPOLD, Luna B; WOLMAN, M. G; MILLER, John P. *Fluvial processes in geomorphology.* San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1964, p.248-269.

LIU, Dedi *et al.* Impacts of climate change and human activities on surface runoff in the Dongjiang River basin of China. *Hydrological Processes.* v.24, n.11, p.1487-1495, 2010.

LUEDELING, E; SIEBERT, S; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, New York, v.62, n.4, p.283-294, 2007.

MAACK, Reinhard. *Geografia Física do Estado do Paraná.* 2. ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. p.329-420.

_____. *Geografia Física do Estado do Paraná.* 4. ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 2012. p.133-420.

MAIO, Celeste R. Interpretação de Imagens de Landsat na Bacia do Rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.42, n.1, p.156-159, jan./mar, 1980.

MANLY, Bryan F. J. *Multivariate statistical methods: A primer.* 3. ed. New York: Chapman & Hall/RC. 211pp, 2005

MANTUA, Nathan J *et al.* Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bulletin of the American Meteorological Society.* v.78, n.6, jun., 1997, p.1069-1079. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-477%281997%29078%3C1069%3AAPICOW%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 23. jul, 2014.

MARENGO, José A; TOMASELLA, Javier. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical* v.103, n.D2, p.1775-1783, 1998.

MARTINS, J. A. Infiltração. In: PINTO, Nelson L. de; HOLTZ, Antonio C. T; _____; GOMIDE, Francisco L. S. *Hidrologia básica.* São Paulo: Edgar Blücher, 1976, p.48.

MENDES, C. A. B; CIRILO, J. A. *Geoprocessamento em recursos hídricos*: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MENDONÇA, Francisco de A. *O Clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno:* Proposição metodológica para Estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR, 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia, São Paulo, p.99 -106.

_____. Dinâmica atmosférica e tipos climáticos predominantes da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., *et al.* (Ed.). *A Bacia do Rio Tibagi.* Londrina: 2002, p.65.

_____. *Geografia Física:* Ciência humana? 5º ed. São Paulo: Contexto, 1997.

_____; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco, *Climatologia:* Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINGOTI, Sueli A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada:* Uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 297pp, 2007.

MIRANDA, E. E.de. (Coord.). *Brasil em relevo.* Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa>. Acesso em: 10 fev. 2015.

MIRANDA, José. I. *Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.* Brasília – DF: EMBRAPA, 2005, p.23-303.

MOLINA, José-Luiz *et al.* Geomatic methods at service of water resources modelling. *Journal of Hydrology,* v.509, p.150-162, 2014.

MOLION, Luiz Carlos B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do pacífico. *Revista Climanálise,* ano 03, n.1, p.1-5, 2005.

MOLION, Luiz Carlos B. ENOS e o clima no Brasil. *Ciência Hoje,* v.10, n.58, out, p.23-29, 1989.

_____. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. *Revista Brasileira de Climatologia.* v.3, p.117-128, 2008.

MONICO, João. F. G. *Posicionamento pelo GNSS***:** Descrição, fundamentos e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

MONTEIRO, Carlos A. de F. Clima. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Geografia do Brasil – Grande Região Sul. Rio de Janeiro: Divisão Cultural, Tomo I, 1968, p.117-169.

_____. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática. *Revista Geográfica.* v.31, n.57, p.29-44, 1962.

_____. Estudo geográfico do clima. *Cadernos Geográficos,* Florianópolis, n.1, UFSC, 1999.

MORAES, Antonio C. R; COSTA, Wanderley M. da. *Geografia crítica*: A valorização do espaço. São Paulo: HUCITEC, 1987, p.27.

MORAES, Jorge *et al.* Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. *Water Resources Management.* v. 12, n.4, p.295–311, 1998.

MOREIRA, Fátima *et al.* O ecossistema solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. In:_____; CARES, Juvenil E; ZANETTI, Ronald; STÜRMER, Sidney. *O ecossistema solo:* Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ed. UFLA, 2013, p.15.

MOREIRA, Maurício A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação.* 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005, 320p.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, Isabel C *et al.* Contribuição ao planejamento de recursos hídricos em bacia hidrográfica: Geomorfologia e fragilidade ambiental da UGRH Paranapanema. *Revista do Departamento de Geografia – USP,* v.27, p.21-46, 2014.

MU, Xingmin *et al.* Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes.* v.21, n.16, p.2124-2134, 2007.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. Climate Prediction Center*. Monitoring and data: index.* Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/>. Acesso em: 05.jul.2015b.

_____. National Centers For Environmental Information. *Teleconnections.* Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/>. Acesso em: 05.jul.2015a.

_____. National Weather Service. Climate Precdtion Center. *Climate and weather linkage.* Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/climwx.shtml>. Acesso: 04 ago. 2015c.

_____. National Centers for Environmental Information. *What are Proxy Data?*. NOAA, 2015d, Disponível em: < https://www.ncdc.noaa.gov/news/what-are-proxy-data>. Acesso em: 04 dez. 2015.

NEAL, J. C *et al.* Distributed whole city water level measurements from the Carlisle 2005 urban flood event and comparison with hydraulic model simulations. *Journal of Hydrology.* v. 368, n.1-4, p.42–55, 2009.

NOVO, Evlyn M. L. M.; SANTOS, A. P. Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto orbital: exemplo do Vale do Rio Doce. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 2., 1982, Brasília. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1982. p.381-394. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/marte@80/2008/09.30.13.02>. Acesso em: 20 set. 2010.

OLIVEIRA, Marcelo A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, Antonio J. T; SILVA, Antonio S. da;

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. *Séries históricas de vazões.* 2014. Disponível em: < http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 15.jan.2016.

PASSOS, Messias M. dos. *A raia divisória:* geossistema, paisagem e eco-história. Maringá: EDUEM, v.1, 2006, p.58.

PETERSEN, G; LEBED, I; FOHRER, N. SRTM DEM levels over papyrus swamp vegetation – a correction approach. *Advances in Geosciences*, v.21, p.81–84, 2009.

PETRI, Setembrino; FÚLFARO, José V. *Geologia do Brasil.* São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 9, 1983. p.235.

PETTITT A. N. A Non-Parametric Approach To The Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28, p.126-135, 1979.

PETTS, Foster; FOSTER, Ian. *Rivers and landscape.* London: Edward Arnold.

PINESE, José. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., *et al.* (Ed.)*. A Bacia do Rio Tibagi.* Londrina: EDUEL, 2002, p.21-38.

PINHEIRO, Lidriana de S; MORAIS, Jáder O de. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-nordeste do Brasil. *Sociedade&Natureza,* v.22, n.2, ago, p.237-250, 2010.

PINTO, Nelson L. de S. Manipulação de dados de vazão. In: ——; HOLTZ, Antonio C. T; MARTINS, José A; GOMIDE, Francisco L. S (Org.). *Hidrologia básica.* São Paulo: Edgar Blücher, 1976, p.170.

PINTO, Sérgio A. *et al.* Utilização de dados multitemporais do Landsat para a identificação de setores da planície fluvial sujeitos à inundação. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, v.15, n. 29/30, p.182-195, 1985.

POFF, L. N *et al.* The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience,* v.47, n.11, p.769-784, 1997.

POVEDA, Germán; MESA, Oscar J. Feedbacks between Hydrological Processes in Tropical South America and Large-Scale Ocean–Atmospheric Phenomena. *Journal of Climate.* v.10, oct, 1997, p.2690-2702. Disponível em: < http://www.bdigital.unal.edu.co/2198/1/Poveda_%26_Mesa_J_Climate.pdf>. Acesso: 23, jul, 2014.

RADESCA, Maria de L. P. de S. A hidrografia. In: AZEVEDO, Aroldo de (Org.). *Brasil a terra e o homem*: As bases físicas. v.1. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964, p.537-569.

RAMOS, Cristhiane da S; SANCHEZ, Miguel C. Estudo metodológico de classificação de dados para cartografia temática. *Geografia*, Rio Claro, v.25, n.2, ago, p.23-52, 2000.

RICHEY, Jeffrey. E; NOBRE, Carlos; DESER, Clara. Amazon river discharge and climate variability – 1903 to 1985. *Scince.* New seires. v.246, n.4926, oct. 6, 1989, p.101-103. Disponível em: <http://earthsciences.osu.edu/~alsdorf/files/Ice_Discharge/Amazon%20ICE%20and%20Q/References/Richeyetal_Science_1989.pdf>. Acesso em: 05, ago, 2014.

RICHTER, Brian D; BAUMGARTNER, Jeffrey V; WIGINGTON, Robert. How much water does a river need? *Freshwater Biology,* 37, p.231-249, 1997.

ROBERTSON, Andrew W; MECHOSO, Carlos R. Interannual and Decadal Cycles in River Flows of Southeastern South America. *Journal of Climate*, v.11, oct, 1998, p.2570-2581. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/15200442%281998%29011%3C2570%3AIADCIR%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 22.jul.2014.

ROCHA, Paulo C. Indicadores de alteração hidrológica no alto Rio Paraná: Intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. v.22, n.1, p.205-225, 2010.

_____; TOMMASELLI, José. T. G. Variabilidade hidrológica nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, região Oeste Paulista. *Revista Brasileira de Climatologia*. v.10, jan./jun, p.69-84, 2012.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia (USP)***,** São Paulo, n.16, p.81-90, 2005. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/index.htm>. Acesso em: 05/03/2010.

ROSS, Jurandyr L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia.* v.6, p.17-29, 1992. Disponível em: < http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108>. Acesso em: 05. mar. 2014.

ROSS, Jurandyr L. S. *Ecogeografia do Brasil:* Subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.23-146.

_____; MOROZ, Isabel C*. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*: Escala: 1:500.000. São Paulo: FFLCH-USP, 1997.

SAMPAIO, T. 1944. Relatório dos rios Itapetininga e Paranapanema. *Rev. Inst. Geogr. Geol.* v.2, n.3, p.222-271, 1944.

SANT'ANNA NETO, João L. Escalas geográficas do clima: Mudança, variabilidade e ritmo. In: TRINDADE, Margarete C de C; _____; MONTEIRO, Ana. *Climatologia urbana e regional:* Questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, 2013.

SANTOS, Leonardo J C *et al.* Mapeamento geomorfológico do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia.* Ano 7, n.2, p.3-12, 2006.

SÃO PAULO. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH. 2015. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/apresentacao>. Acesso em: 10.fev.2015.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ – MINEROPAR. *Atlas Geológico do Estado do Paraná.* Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2001, p.15.

_____. *Mapas geológicos para download:* Folha Londrina. 1:250.000. 2005. Disponível em: < http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=154>. Acesso em: 15.01.2015.

_____. *Mapas geológicos para download:* Folha Cornélio Procópio. 1:250.000. 2005. Disponível em: < http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=154>. Acesso em: 15.01.2015.

_____. *Mapas geológicos para download:* Folha Marília. 1:250.000. 2005. Disponível em: < http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=154>. Acesso em: 15.01.2015.

_____. *Mapas geológicos para download:* Folha Presidente Prudente. 1:250.000. 2005. Disponível em: < http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=154>. Acesso em: 15.01.2015.

_____; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR. *Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. Escala Base 1:250.000. Modelos Reduzidos 1:500.000.* Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006, p.20-31.

SOARES, Paulo C; FIORI, Alberto P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Bol. Geogr.* Rio de Janeiro, 36, p.35-59, jul./dez, 1978.

SOARES, Sérgio Caldas; MOURA, Carlos Roberto Weide; Priscila Pereira, COLTRI, MACEDO JUNIOR, Celso. *Efeitos do El Niño e da La Niña na Agricultura Brasileira.* Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8530>. Acesso em: 23.jun.2014.

SOUSA, Rodrigo V. B. *Estudo sobre as inundações no curso inferior do Rio Tibagi – PR,* 2012a, 191pp. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Londrina - UEL.

_____; BARROS, Mirian V. F; PEREIRA NETO, Osvaldo C. Cálculo da área do espelho d'água, no curso inferior do rio Tibagi, através de operações aritméticas de bandas: Subsídio ao entendimento dos processos responsáveis pelas inundações, na cidade de Jataizinho – PR. *Revista Brasileira de Geomorfologia,* v.13, n.4, p.477-484, 2012b.

_____ *et al.* Considerações acerca do regime hidrológico do Rio Tibagi – PR e suas relações com o regime pluviométrico. *Revista Geonorte.* Edição especial 4. v.10, n.1, p.170-176, 2014.

STRAHLER, Alan; STRAHLER, Arthur. *Physical Geography:* Science and systems of the human environment. 3rd ed. USA: John Wiley & Sons, 2005, p.18 - 466.

SUERTEGARAY, Dirce M. A. O atual e as tendências do ensino e da paisagem em Geografia no Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 16, p.38-45, 2005.

SUGUIO, Kenitiro. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais.* São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

TOREZAN, José M. D. Nota sobre a vegetação da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., et al. (Ed.). *A Bacia do Rio Tibagi.* Londrina: 2002, p.103-105.

TRIOLA, Mario F. *Introdução à estatística.* 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005, p.383-396.

TUCCI, C. E. M. Impactos da Variabilidade Climática e do Uso do Solo nos Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas - ANA, Câmara Temática de Recursos Hídricos, 2002, 150 p.

_____. *Modelos Hidrológicos*. 4ª ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2005.

_____. *Hidrologia:* Ciência e Aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004, p.943pp.

_____. *Regionalização de vazões.* Porto Alegre: Editora UFRGS, 2002a, p.39-90.

_____; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO NETTO, Oscar de M. *Gestão da Água no Brasil.* Brasília: UNESCO, 2001.

TUNDISI, José G; TUNDISI, Takako M. *Limnologia.* São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p.319-354.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. *Questions and answers about floods.* 2015a. Disponível em: <http://water.usgs.gov/edu/qafloods.html>. Acesso em: 01 jul. 2015.

_____. *USGS Ohio Water Science Center***.** 2015b. Disponível em: < http://oh.water.usgs.gov/ >. Acesso em: 01 jul. 2015.

_____. *Water Resources of the United States***.** 2015c. Disponível em: < http://www.usgs.gov/water/>. Acesso em: 01 jul. 2015.

UMETSU, Ricardo K. *Efeito da barragem de Manso sobre as inundações em matas ripárias na bacia do rio Cuiabá,* 2004. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação da Biodiversidade) – Universidade Federal de Mato Grosso.

VALERIANO, Márcio de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, Teresa G. (Org.). *Geomorfologia:* Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

_____. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. *Computers & Geosciences*, Amsterdam, v.32, n.8, p.1169-1181, 2006.

_____. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.* São José dos Campos: INPE, 2004. INPE-10550-RPQ/756.

VÁZQUEZ, D; MENÉNDEZ, R; FERNÁNDEZ, E. Changes in fluvial sediments storage from aerial photograph analysis (river Narcea, Northern Cantabrian Range). *Cuaternario y Geomorfología.* v.25, n.3-4, p.71–85, 2011.

VILLELA, Swami M; MATTOS, Arthur. *Hidrologia aplicada.* São Paulo: McGraw-Hill, 1978. p.104-182.

WAGNER, C. S; BERNARDES. L. R. M; CORREA, A. R. *Boletim técnico. Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná.* Londrina: IAPAR, 1989, 56p.

WARD, Andy D; TRIMBLE, Stanley W. *Environmental hydrology.* 2nd ed. Lewis Publishers, 2004, p.19-387.

YANG, Yonghui; TIAN, Fei. Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China. *Journal of hydrology.* v.374, n.3-4, p.373-383, 2009.

ZAZO, Santiago; MOLINA, José-Luiz; RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, Pablo. Analysis of flood modeling through innovative geomatic methods. *Journal of Hydrology.* v. 524, p.522-537, 2015.

ZHANG, Shurong *et al.* Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global and Planetary Change.* v.60, n.1-2, p.365-380, 2008.

ZIESLER, R; ARDIZZONE, G. D. *The inland waters of Latin America*. Copescal Technical Paper n. 1. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, 1979, 171 p. Disponível em: < http://www.fao.org/docrep/008/ad770b/ad770b00.htm>. Acesso em: 01.jan.2016.

ANEXOS

ANEXO 1. HISTÓRICOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DO RIO TIBAGI E DA UHE CAPIVARA.

Histórico da estação fluviométrica Chácara Ana Cláudia – 64506000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

SUDERHSA

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA NO CURSO DA ÁGUA

Rio : Tibagi **Estação :** Chácara Ana Cláudia **Código :** 64 506 000

Tipo : FDSQ **Bacia :** Tibagi **Município :** Ibiporã **Estado :** Pr.

Entidade Responsável: ANA **Entidade Operadora:** SUDERHSA **Outras:** CESP

Área de Drenagem: 21.240 **km²** **Drenagem Geral:** Tibagi-Paranapanema-Paraná

Latitude: 23°17'15" **Longitude:** 50°58'00" **Altitude:** **m.** **Instrumento:** Carta Cartográfica

Ref. Cartográfica/Orgão: I.B.G.E. **Folha:** SF-22-V-I **Escala:** 1:100.000 **Ano:** 1965

Estação	Tipo	Data				Entidade Operadora
		Instalação	Extinção	Reinstalação	Extinção	
Fluviométrica	F	08/07/77				CESP
Fluviográfica						
Sedimetométrica	S	01/09/90				SUDERHSA
Qualidade das Águas	Q	17/03/98				SUDERHSA
Telemétrica						

Localização : Margem esquerda, aproximadamente 7 km a montante da cidade de Jataizinho e 5 km a montante da ponte que liga Jataizinho a Londrina.

Acessibilidade: Partindo de Jataizinho (Br-369), em direção a Londrina, após 300m sobre a ponte no Rio Tibagi, entrar a esquerda e percorrer 100m, entrar novamente a esquerda em direção a Chácara Ana Cláudia passando por um clube do café, até atingir o posto.

Descrição da estação (réguas, lances, RRNN, SM, SR, PI, PF, etc.) :
A estação é composta de uma seção de réguas de 4 lances, o primeiro com 3 metros e os demais com 1 metro cada, totalizando 7 metros.
Fixação 1° trilho de madeira, outros de madeira e concreto.
Existem 2 RRNN: RN1=4554 e RN2=7692mm.
Cota zero da régua (histórico hidro): **347,182 m.**

Equipamentos							
Espécie	N.° Patrimônio	N.° Série	Proprietário	Operando	Estado Conservado	Data Recolhido	Obs.:
Linígrafo			CESP				

Informações Complementares

Potamografia: O Rio Tibagi nasce na Serra do Purunã no município de Ponta Grossa. Desenvolve-se no sentido geral sul-norte até a sua desembocadura no Rio Paranapanema pela esquerda. Tem como os principais afluentes os rios: Pitangui e Iapó pela margem direita e o rio Imbituva pela margem esquerda
Posição em relação à rede:
Característica do trecho:
Natureza e inclinação das margens:
Natureza do leito:
Controles (Tipo e Localização): ☐ Jusante ☐ Montante
Cota de transbordamento : ☐ MD ☐ ME

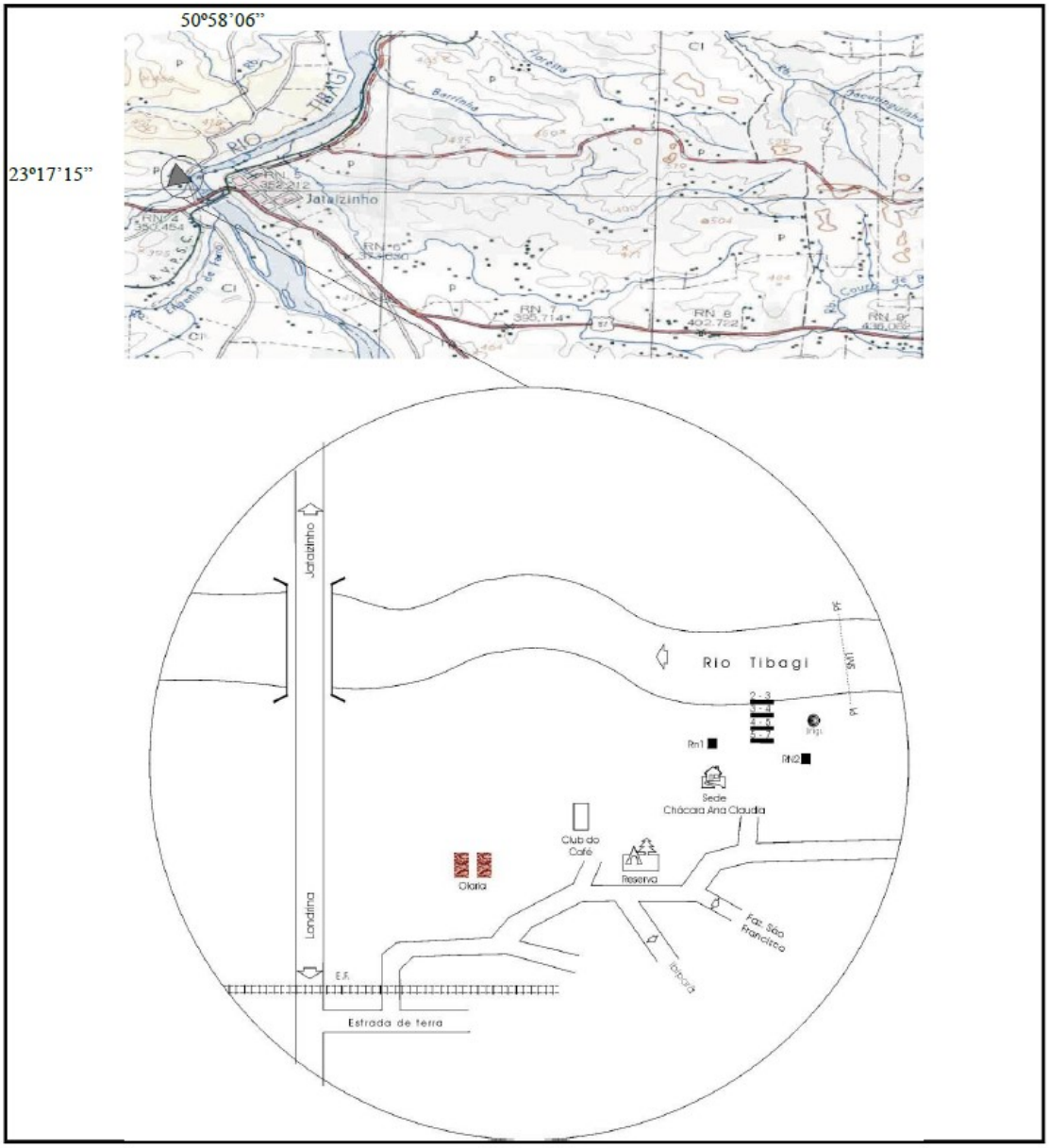
Nome do Observador :	Profissão:	Grau de instrução:
Endereço:		Fone : ( )
Gratificação : R$	N.° RG :	C.P.F. :
Banco :	Agência :	N.° da Conta :
Distância da residência á estação : m.	Aux. das Leituras:	
Na ausência do observador procurar por :		Fone : ( )
Endereço completo:		N.° Cidade:
Estado: Bairro:		CEP:
Distância do telefone ou rádio mais próximo : _____m.	da casa do Obs.	Fone : ( ):
Nome do proprietário :		

Observação : Informar a existência de retirada de areia e alteração das margens pelo homem, Informar nº, data do Decreto, Lei, Portaria, Orgão, DOU, etc.

Responsável: Marcio Corrêa Duarte.	Data da ficha: 14/05/02

CROQUI DE LOCALIZAÇÃO E SITUAÇÃO

Rio: Tibagi	**Em:** Chácara Ana Cláudia	**Código:** 64 506 000



Responsável: Marcio Corrêa Duarte.	Data da ficha: 14/05/02

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

SUDERHSA

FOTOS DA ESTAÇÃO

Rio: Tibagi	**Em:** Chácara Ana Cláudia	**Código:** 64 506 000

Responsável: Marcio Corrêa Duarte.	Data da ficha: 14/05/02

Histórico da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA

	Nome da Estação:	Município:	U.F.:	Roteiro:
DUKE ENERGY BRASIL	JATAIZINHO	JATAIZINHO	PR	01
	Entidade Proprietária da Estação:	Código da Entidade:	CNPJ da Empresa:	
	DUKE ENERGY INTERNATIONAL	131 (Hidro)	02.998.301/0001-81(SP)	
	Entidade Operadora da Estação:	Código PLU:	Código FLU:	
	DUKE ENERGY INTERNATIONAL	02350000	64507000	
Curso d'água:	Sub-bacia:	Bacia Hidrográfica:	Área de Drenagem:	
Rio Tibagi	64 – Paranapanema	6 – Rio Paraná	8167 km2	

DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MONITORAMENTO

Item	Tipo de Monitoramento	Data da Instalação	Data de Desativação	Método de Obtenção	Forma de Transmissão
1	Pluviométrico	17/12/1985	-	Telepluviômetro	Telemetria
2	Fluviométrico	24/06/1931	-	Sensor de nível hidrostático	Telemetria
3	Sedimentométrico *	2012	-	Amostrador USD-49	Boletim
4	Limnimétrico	24/06/1931	-	Régua limnimétrica	Boletim
5	Qualidade da água **				

(*) A medição de descarga sólida e efetuada na mesma seção de medição de vazão líquida.
(**) O monitoramento de qualidade da água não é realizado em trecho de rio, mas sim, em seis pontos estratégicos do reservatório da usina Capivara.

COORDENADA GEOGRÁFICA DOS TIPOS DE MONITORAMENTO

Item	Tipo Monitoramento	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	Pluviométrico	-23°14'59"	-050°59'02"	350,00
2	Fluviométrico	-23°14'59"	-050°59'02"	335,95m
3	Sedimentométrico	-23°14'59"	-050°59'02"	335,95m
4	Limnimétrico	-23°14'59"	-050°59'02"	335,95m

EQUIPAMENTOS INSTALADOS

Equipamento	Marca	Modelo	Autonomia	Ativado em	Desativado
Estação PCD	Overtech Soluções Tecnológicas	OVER	7 dias	08/2012	-
Transmissor via satélite	Stevens GOES HDR	GHT 300	7 dias	08/2012	-
Telepluviômetro	Met One	M380	7 dias	Set/2012	-
Painel solar c/ bateria 12V	Kyocera	SM-42KSM	7 dias	08/2012	-
Datalogger	Stevens	DL-300	7 dias	08/2012	-
Sensor de nível hidrostático	Wika	LH-10	7 dias	08/2012	-

LOCALIZAÇÃO

Margem esquerda, localizada na chácara Água da Jacutinga, mais 1.000m á Jusante das pontes rodo e ferroviária, sobre o rio Tibaji.

ACESSIBILIDADE À ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO

Seguindo pela rodovia PR-090 sentido Jataizinho-Ibiporã até a ponte do rio Tibagi. Seguir por mais 350 metros até trevo de acesso à direita. Seguir por aproximadamente 1.500 metros até a chácara Água da Jacutinga de propriedade do Sr. Silvano onde esta instalada a estação.

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE

No site da estação existem três referenciais de nível sendo dois instalados nos arredores de uma antiga edificação e um materializado em bloco de concreto no solo dentro da área da estação telemétrica. Há um conjunto de 5 lances de réguas fluviométricas, metálicas, esmaltadas, com marcação em preto e vermelho e escala centimétrica. Estão materializados dois pontos de indicação da seção: PI (ponto inicial) e PF (ponto final). A estação telemétrica e os demais equipamentos estão protegidos por alambrado e cerca metálica.

POTAMOGRAFIA (rios afluentes)

O rio Tibaji é um **rio brasileiro** que percorre o estado do **Paraná**, região Sul do Brasil e integra a **Bacia do rio Paraná**. É o segundo em extensão no estado do Paraná. Suas nascentes localizam-se entre os municípios de **Campo Largo**, **Palmeira** e **Ponta Grossa**, no centro-sul do estado. Esta região é conhecida como **Campos Gerais do Paraná**, unidade fisiográfica identificada como **segundo planalto paranaense**. Seu curso percorre o estado de sul para norte atravessando o segundo e o **terceiro planalto paranaense** até sua foz, na margem esquerda do **rio Paranapanema**, divisa entre os estados de Paraná e **São Paulo**. A bacia do rio Tibaji se estende por 41 municípios, cobrindo 25.239 km² no território paranaense e possui uma extensao de 550 km tendo como principais afluentes pela margem direita: Salto, Imbituva, Capivari, Imbaú, Mococa, Apucaraninha e pela margem esquerda: Guabiroba, Botuquara, **Rio Iapó**, Pitangui, das Antas, do Tigre e São Jerônimo. *Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Tibaji*

DADOS CADASTRAIS DO OBSERVADOR OU ZELADOR

Nome: Silvano Bonfim Ledo		**CPF:** 165.119.059-34	**Gratificação (R$):**
Instrução: Alfabetizado		**Profissão:** Aposentado	
Endereço: Chácara Jacutinga			
Bairro: Zona rural	**CEP:** 86210-970	**Cidade:** Jataizinho	**UF:** PR
Telefones p/ Contato: (43) 3259-1442	(43) 8465-3839	**Distância da residência à Estação:** 400 m	

SEÇÃO DE RÉGUAS (se houver)

Número de Lances	Descrição dos lances
05	1º lance: de 1a 3m; 2º lance: de 3 a 6m; 3º lance: de 5 a 7m; 4º lance: de 7 a 8m; 5º lance: de 8 a 10m;

Margem	Amplitude	Tipo	Altitude do Zero da Régua com relação ao nível do mar (m)
Esquerda	De 0 a 10	Réguas metálicas	335,965

REFERÊNCIAS DE NÍVEL:

RN	Cota (m)	Altitude dos RN's com relação ao nível do mar (m)	Estabilidade	Descrição dos RN's
01	9,570	345,535	Boa	Referencial instalado na parede da edificação
02	9,136	345,101	Boa	Referencial instalado na parede da edificação
03	13,140	349,105	Boa	Referencial instalado em base de concreto

COTA DE TRANSBORDAMENTO (SEÇÃO DE réguas)

MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)	COTA (m)
DIREITA	5,40

SEÇÃO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO E SEDIMENTO

Distância da Seção de Réguas (m)	Localização	Tipo de Travessia
110,00	À montante da seção de régua	Barco com cabo de aço

Distância PI/PF (m)	Natureza do Leito	Processos do cálculo de Medição
251,75	Rochoso	Meia seção (molinete hidrométrico)

CARACTERÍSTICAS DO TRECHO (Seção de medição)

REGIME: ☒ Perene ☐ Intermitente ☐ Efêmero
CONFORMAÇÃO: ☒ Retilíneo ☐ Anastomosado ☐ Meandrante ☐ Curvo
FUNDO: ☒ Regular ☐ Irregular

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (Seção de medição)

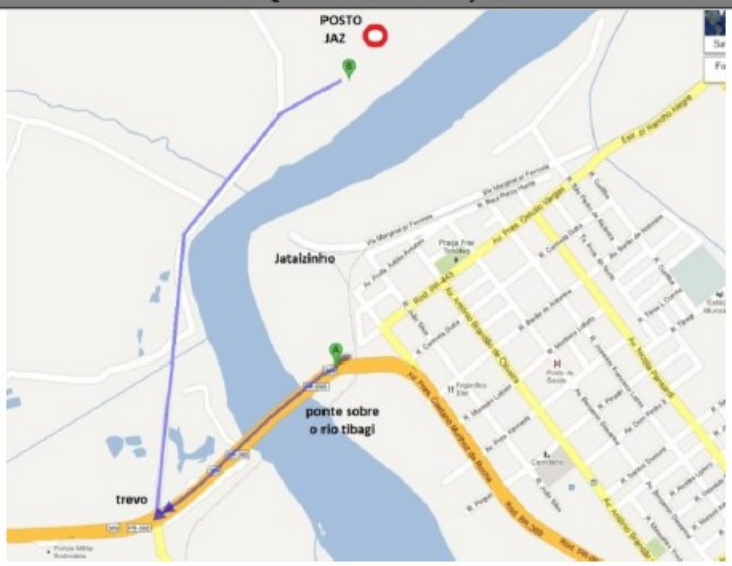
MARGEM	NATUREZA	VEGETAÇÃO	INCLINAÇÃO
Direita	Solo argiloso	Baixa	Média
Esquerda	Solo argiloso	Baixa	Média

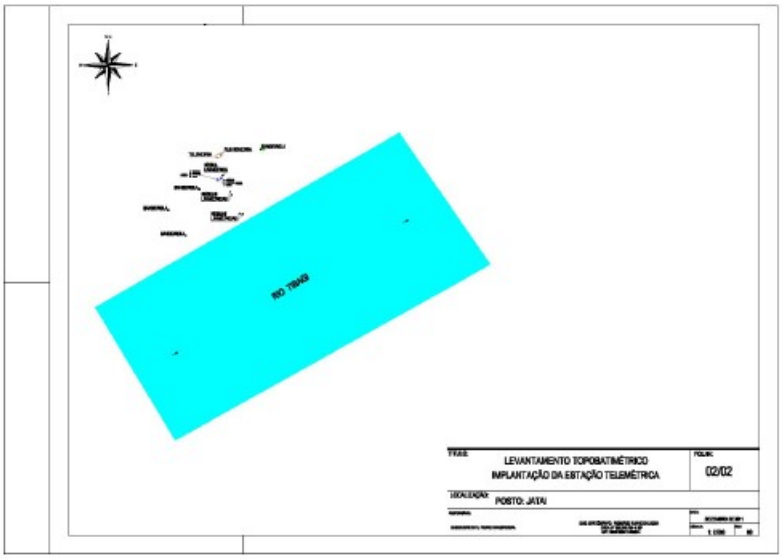
CONTROLE (SEÇÃO DE RÉGUAS - JUSANTE)

TIPO DE CONTROLE	DISTÂNCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)
Não tem	

POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE HIDROLÓGICA	
ESTAÇÃO A MONTANTE (CÓDIGO/ENTIDADE RESPONSÁVEL)	ESTAÇÃO A JUSANTE (CÓDIGO/ENTIDADE RESPONSÁVEL)
UHE Canoas I barragem – 64345080 (Duke Energy)	UHE Capivara barragem-64516080 (Duke Energy)

CROQUI DE LOCALIZAÇÃO





Nome do responsável pela elaboração do croqui de localização e de acesso	Data
Gustavo Ferreira – Duke Energy International	04/06/2012

IMAGEM DE LOCALIZAÇÃO e ACESSO DA ESTAÇAO NO GOOGLE EARTH	
	
OBSERVAÇÕES:	
Nome do responsável pela elaboração da imagem	Data
Gustavo Ferreira – Duke Energy International	04/06/2012

FOTOS DA SEÇÃO DE MEDIÇÃO



Foto 1: Vista da seção limnimétrica



Foto 2: Vista dos lances de réguas limnimétricas



Foto 3: Referencial de Nível 1 e 2 - instalados em base de concreto



Foto 4: Ponto Inicial (PI) – Margem direita



Foto 5: Bandeirolas para auxiliar na topografia



Foto 6: Vista da seção de medição

OBSERVAÇÕES:

FOTOS DA ESTAÇÃO



Foto 7: Vista geral da seção telemétrica



Foto 8: Via de acesso à estação



Foto 9: Telepluviômetro utilizado na estação



Foto 10: Detalhe da conservação da estação



Foto 11: Vista da antena e painel solar



Foto 12: Placa de identificação

OBSERVAÇÕES:	
Nome do responsável que fotografou a estação	**Data**
Gustavo Ferreira – Duke Energy International	**15/05/2012**

Histórico da estação hidrometeorológica da UHE Capivara – 64516080

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA

	Nome da Estação:	Município:	U.F.:	Roteiro:
DUKE ENERGY BRASIL	UHE CAPIVARA – Barragem	PORECATU	PR	01
	Entidade Proprietária da Estação:	**Código da Entidade:**	**CNPJ da Empresa:**	
	DUKE ENERGY INTERNATIONAL	131 (Hidroweb)	02.998.301/0001-81 (SP)	
	Entidade Operadora da Estação:	**Código PLU:**	**Código FLU:**	
	DUKE ENERGY INTERNATIONAL	02251070	64516080	

Curso d'água:	Sub-bacia:	Bacia Hidrográfica:	Área de Drenagem:
Rio Paranapanema	64 – Rio Paranapanema	6 – Rio Paraná	-

DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MONITORAMENTO

Item	Tipo de Monitoramento	Data da Instalação	Data de Desativação	Método de Obtenção	Forma de Transmissão
1	Pluviométrico	05/1972	-	Telepluviômetro	Telemetria
2	Limnimétrico	07/2010	-	Sensor de nível (onda guiada)	Transdução em corrente elétrica

Os dados de vazão defluente total são obtidos do Sistema de Operação da usina e disponibilizados em conformidade à Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010 (§ 7º do Art. 2º).

COORDENADA GEOGRÁFICA DOS TIPOS DE MONITORAMENTO

Item	Tipo Monitoramento	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	Pluviométrico	-22°39'46"	-51°21'34"	340,00
2	Limnimétrico	-22°39'46"	-51°21'34"	338,00

EQUIPAMENTOS INSTALADOS

Equipamento	Marca	Modelo	Autonomia	Ativado em	Desativado
Estação PCD	Overtech Soluções Tecnológicas	OVER	7 dias	Set/2012	-
Transmissor via satélite	Stevens GOES HDR	GHT 300	7 dias	Set/2012	-
Telepluviômetro	Met One	M380	7 dias	Set/2012	-
Painel solar c/ bateria 12V	Kyocera	SM-42KSM	7 dias	Set/2012	-
Datalogger	Stevens	DL-300	7 dias	Set/2012	-
Sensor nível (onda guiada)	Endress Hauser	FMR-240	7 dias	Jul/2010	-

LOCALIZAÇÃO

A estação telemétrica (PCD) e o sensor de nível estão instalados na crista da barragem da UHE Capivara, próximos a TA (Tomada de água).

ACESSIBILIDADE À ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO

Partindo de Porecatu/PR, seguir pela rodovia João Lunardelli sentido ao estado de São Paulo por aproximadamente 12 km, passando pelo posto da Policia Rodoviária Federal. Após atravessar a ponte sob o rio Paranapanema seguir pela SP-421 por aproximadamente 5 km até o trevo de bifurcação das rodovias. Manter-se à direita na pista de acesso a cidade de Nantes/SP e seguir por 500 metros até a entrada da estrada vicinal asfaltada que da cesso à portaria da UHE Capivara.

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE

Uma estação telemetrizada (PCD), um sensor de nível tipo onda guiada, um lance de réguas limnimétricas (montante) e uma RN (referência de nível).

POTAMOGRAFIA (rios afluentes)

DADOS CADASTRAIS DO OBSERVADOR OU ZELADOR

Nome:		**CPF:**	**Gratificação (R$):**
Instrução:		**Profissão:**	
Endereço:			
Bairro:	**CEP:**	**Cidade:**	**UF:**
Telefones p/ Contato:		**Distância da residência à Estação:**	

SEÇÃO DE RÉGUAS (se houver)

Número de Lances	**Descrição dos lances**
15	1º lance: 324; 2º lance: 325; 3º lance: 326; 4º lance: 327; 5º lance: 328; 6º lance: 329; 7º lance: 330; 8º lance: 331; 9º lance: 332; 10º lance: 333; 11º lance: 334; 12º lance: 335; 13º lance: 336; 14º lance: 337; 15º lance: 338. (P.S: Conforme informações do site da Duke a crista possui 339 m). 333

Margem	**Amplitude**	**Tipo**	**Altitude do Zero da Régua com relação ao nível do mar** (m)
Direita	De 1 a 15	Réguas metálicas	324,00

REFERÊNCIAS DE NÍVEL:

RN	**Cota** (m)	**Altitude dos RN's com relação ao nível do mar** (m)	**Estabilidade**	**Descrição dos RN's**
05	6,035	330,035	Boa	Pino de aço inst. no piso (barragem de terra)

COTA DE TRANSBORDAMENTO (seção de réguas)

MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)	**COTA (m)**

SEÇÃO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO E SEDIMENTO

Distância da Seção de Réguas (m)	**Localização**	**Tipo de Travessia**
-		-

Distância PI/PF (m)	**Natureza do Leito**	**Processos do cálculo de Medição**
-	-	-

CARACTERÍSTICAS DO TRECHO (seção de medição)

REGIME: ☒ Perene ☐ Intermitente ☐ Efêmero
CONFORMAÇÃO: ☒ Retilíneo ☐ Anastomosado ☐ Meandrante ☐ Curvo
FUNDO: ☒ Regular ☐ Irregular

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)

MARGEM	**NATUREZA**	**VEGETAÇÃO**	**INCLINAÇÃO**
-	-	-	-

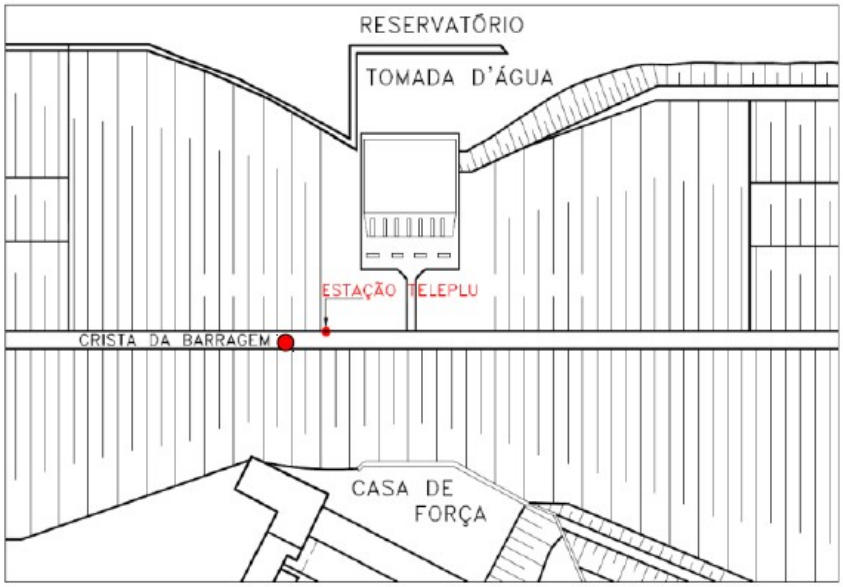
CONTROLE (SEÇÃO DE RÉGUAS - JUSANTE)

TIPO DE CONTROLE	**DISTÂNCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)**
-	-

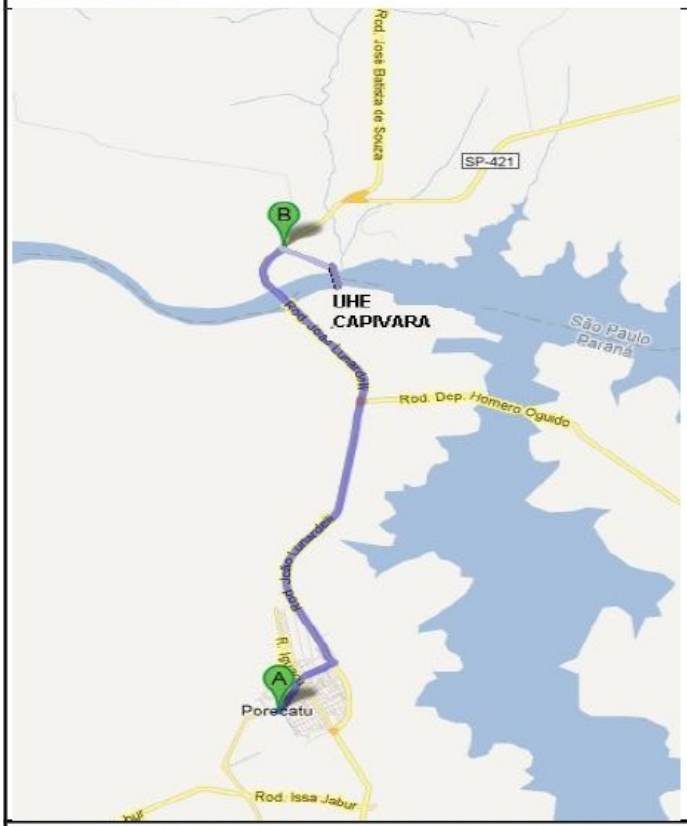
POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE HIDROLÓGICA

ESTAÇÃO A MONTANTE (CÓDIGO/ENTIDADE RESPONSÁVEL)	**ESTAÇÃO A JUSANTE (CÓDIGO/ENTIDADE RESPONSÁVEL)**
UHE Canoas I - barragem–64345080 (Duke Energy)	UHE Taquaruçu - barragem – 02152013 (Duke Energy)

CROQUI DE LOCALIZAÇÃO



Nome do responsável pela elaboração do croqui de localização e de acesso	Data
Gustavo Ferreira	11/12/2012



Nome do responsável pela elaboração do croqui de localização e de acesso	Data
René Deodoro S. Guimarães – Duke Energy International	11/12/2012

IMAGEM DE LOCALIZAÇÃO e ACESSO DA ESTAÇAO NO GOOGLE EARTH



OBSERVAÇÕES:	
Nome do responsável pela elaboração da imagem	**Data**
Gustavo Ferreira	**11/12/12**

FOTOS DA ESTAÇÃO



Foto 1: Vista geral da estação telemétrica instalada



Foto 2: Vista do acesso à estação



Foto 3: Telepluviômetro utilizado na estação



Foto 4: Detalhe do painel da estação PCD



Foto 5: Vista da antena e do painel solar da estação



Foto 6: Placa de identificação

OBSERVAÇÕES

FOTOS DA ESTAÇÃO



Foto 7: Vista geral dos lances de réguas de montante



Foto 8: Detalhes da régua de montante



Foto 9: Vista do sensor de nível Mod.: Hendress Hauser



Foto 10: Detalhe do sensor de nível - montante



Foto 11: Vista da escada de acesso e da régua de jusante



Foto12: Detalhe da régua de jusante

ANEXO 2. RELATÓRIOS DOS TESTES DE PETTITT.

Relatório do teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000

XLSTAT 2014.2.07 - Testes de homogeneidade - em 26/5/2014 às 16:24:18
Séries temporais: Documento = 64507000 e 64465000.xls / Planilha = Petiitt_64507000 / Intervalo = Petiitt_64507000!$B$2:$B$79 / 78 linhas e 1 coluna
Dados de data: Documento = 64507000 e 64465000.xls / Planilha = Petiitt_64507000 / Intervalo = Petiitt_64507000!$A$2:$A$79 / 78 linhas e 1 coluna
Nível de significância (%): 5
Tempo máximo (s): 180
Número de simulações: 10000
Semente (números aleatórios): 4340918

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Série1	78	0	78	95.658	961.917	381.641	172.449

Teste de Pettitt (Série1):

K	1090.000
t	1969
p-valor (bilateral)	< 0,0001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 0s.
Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:
] 0.000; 0.000 [

Interpretação do teste:
H0: Os dados são homogêneos
Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%.

Data1	Série1
1932	410.083
1933	142.575
1934	119.950
1935	370.325
1936	196.467
1937	369.975
1938	290.083
1939	229.975
1940	114.875
1941	376.167
1942	325.500
1943	167.742
1944	160.883
1945	175.700
1946	454.167
1947	301.750
1948	244.167
1949	95.658
1950	218.125
1951	261.158
1952	184.142
1953	239.125
1954	403.583
1955	329.833
1956	305.917
1957	624.333
1958	278.583
1959	198.917
1960	270.000
1961	355.583
1962	228.083

1963	316.208
1964	250.417
1965	567.250
1966	345.250
1967	268.500
1968	138.275
1969	271.250
1970	395.833
1971	465.417
1972	625.417
1973	480.167
1974	382.083
1975	401.833
1976	551.167
1977	340.750
1978	236.333
1979	300.667
1980	460.500
1981	320.833
1982	598.417
1983	961.917
1984	378.333
1985	263.417
1986	372.083
1987	491.333
1988	323.917
1989	502.667
1990	703.333
1991	317.250
1992	549.917
1993	545.667
1994	394.083
1995	529.750
1996	486.417
1997	646.167

1998	846.083
1999	348.861
2000	350.733
2001	483.417
2002	548.333
2003	494.167
2004	600.750
2005	634.167
2006	196.742
2007	415.417
2008	503.167
2009	719.949

Relatório do teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais da estação fluviométrica Tibagi – 64465000

XLSTAT 2014.2.07 - Testes de homogeneidade - em 26/5/2014 às 17:03:30
Séries temporais: Documento = 64507000 e 64465000.xls / Planilha = Pettitt 64465000 / Intervalo = 'Pettitt 64465000'!$B$2:$B$79 / 78 linhas e 1 coluna
Dados de data: Documento = 64507000 e 64465000.xls / Planilha = Pettitt 64465000 / Intervalo = 'Pettitt 64465000'!$A$2:$A$79 / 78 linhas e 1 coluna
Nível de significância (%): 5
Tempo máximo (s): 180
Número de simulações: 10000
Semente (números aleatórios): 4348830

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Série1	78	0	78	47.042	383.667	159.563	67.229

Teste de Pettitt (Série1):

K	720.000
t	1969
p-valor (bilateral)	0.001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 1s.
Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:
] 0.000; 0.002 [

Interpretação do teste:
H0: Os dados são homogêneos
Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,14%.

Data1	Série1
1932	236.750
1933	58.833
1934	73.318
1935	180.017
1936	119.225
1937	170.167
1938	161.067
1939	128.117
1940	64.992
1941	178.942
1942	149.325
1943	85.992
1944	87.567
1945	96.167
1946	192.308
1947	140.100
1948	130.700
1949	47.042
1950	123.600
1951	112.525
1952	83.317
1953	105.358
1954	179.867
1955	169.358
1956	105.075
1957	285.542
1958	110.967
1959	76.267
1960	124.000
1961	153.517
1962	107.225
1963	132.050

1964	117.667
1965	226.929
1966	169.864
1967	132.640
1968	60.700
1969	148.808
1970	194.033
1971	228.342
1972	242.175
1973	205.425
1974	141.058
1975	154.525
1976	216.250
1977	133.367
1978	98.492
1979	137.025
1980	160.050
1981	89.733
1982	230.400
1983	381.833
1984	175.183
1985	88.342
1986	116.925
1987	190.392
1988	100.800
1989	165.500
1990	294.967
1991	96.742
1992	205.792
1993	230.017
1994	139.483
1995	201.642
1996	252.775
1997	268.442
1998	383.667

1999	133.758
2000	169.683
2001	238.583
2002	152.800
2003	157.117
2004	202.633
2005	207.617
2006	76.888
2007	138.078
2008	179.527
2009	253.399

Relatório do teste de Pettitt aplicado às cotas fluviométricas médias interanuais da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000.

XLSTAT 2014.2.07 - Testes de homogeneidade - em 11/6/2014 às 19:49:24
Séries temporais: Documento = Interanual.xls / Planilha = Dados Completos / Intervalo = 'Dados Completos'!$N$2:$N$79 / 78 linhas e 1 coluna
Dados de data: Documento = Interanual.xls / Planilha = Dados Completos / Intervalo = 'Dados Completos'!$A$2:$A$79 / 78 linhas e 1 coluna
Nível de significância (%): 5
Tempo máximo (s): 180
Número de simulações: 10000
Semente (números aleatórios): 4375024

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Série1	78	0	78	136.750	287.583	194.127	29.840

Teste de Pettitt (Série1):

K	1053.000
t	1969
p-valor (bilateral)	< 0,0001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 1s.
Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:
] 0.000; 0.000 [

Interpretação do teste:
H0: Os dados são homogêneos
Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%.

Data1	Série1
1932	205.917
1933	144.667
1934	140.833
1935	189.000
1936	162.583
1937	189.750
1938	181.500
1939	168.083
1940	141.250
1941	198.250
1942	189.083
1943	155.167
1944	150.833
1945	155.083
1946	208.833
1947	183.583
1948	172.833
1949	136.750
1950	166.167
1951	174.667
1952	157.667
1953	172.000
1954	201.417
1955	187.167
1956	183.917
1957	233.667
1958	180.333
1959	161.833
1960	178.500
1961	194.250
1962	168.167

1963	183.250
1964	174.833
1965	231.917
1966	193.083
1967	177.417
1968	145.833
1969	175.667
1970	201.667
1971	212.500
1972	238.250
1973	219.000
1974	200.417
1975	201.917
1976	229.583
1977	191.833
1978	169.583
1979	185.500
1980	215.500
1981	183.167
1982	230.833
1983	287.583
1984	199.500
1985	169.750
1986	189.417
1987	217.000
1988	180.833
1989	216.417
1990	250.917
1991	178.917
1992	228.083
1993	227.583
1994	194.750
1995	215.333
1996	218.917
1997	243.750

1998	274.750
1999	194.333
2000	197.000
2001	224.583
2002	207.833
2003	203.917
2004	213.083
2005	211.917
2006	165.750
2007	194.250
2008	206.833
2009	233.404

Relatório do teste de Pettitt aplicado às médias interanuais de cotas altimétricas da estação fluviométrica Jataizinho – 64507000 (Cota zero da régua obtida no histórico da referida estação fluviométrica).

XLSTAT 2015.6.01.25106 - Testes de homogeneidade - em 27/01/2016 às 17:40:32
Séries temporais: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Pettitt nível rio 64507000_hist / Intervalo = 'Pettitt nível rio 64507000_hist'!$B$1:$B$79 / 78 linhas e 1 coluna
Dados de data: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Pettitt nível rio 64507000_hist / Intervalo = 'Pettitt nível rio 64507000_hist'!$A$1:$A$79 / 78 linhas e 1 coluna

Nível de significância (%): 5

Tempo máximo (s): 180

Número de simulações: 10000

Semente (números aleatórios): 4413632

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Nível altimétrico (m)*	78	0	78	337.333	338.841	337.906	0.298

Teste de Pettitt (Nível altimétrico (m)*):

K	1053.000
t	1969
p-valor (bilateral)	< 0,0001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 0s.

Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:

] 0.000; 0.000 [

Interpretação do teste:

H0: Os dados são homogêneos

Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%.

Ano	Cota altimétrica (m)
1932	338.024
1933	337.412
1934	337.373
1935	337.855
1936	337.591
1937	337.863
1938	337.780
1939	337.646
1940	337.378
1941	337.948
1942	337.856
1943	337.517
1944	337.473
1945	337.516
1946	338.053
1947	337.801
1948	337.693
1949	337.333

1950	337.627
1951	337.712
1952	337.542
1953	337.685
1954	337.979
1955	337.837
1956	337.804
1957	338.302
1958	337.768
1959	337.583
1960	337.750
1961	337.908
1962	337.647
1963	337.798
1964	337.713
1965	338.284
1966	337.896
1967	337.739
1968	337.423
1969	337.722
1970	337.982
1971	338.090
1972	338.348
1973	338.155
1974	337.969
1975	337.984
1976	338.261
1977	337.883
1978	337.661
1979	337.820

1980	338.120
1981	337.797
1982	338.273
1983	338.841
1984	337.960
1985	337.663
1986	337.859
1987	338.135
1988	337.773
1989	338.129
1990	338.474
1991	337.754
1992	338.246
1993	338.241
1994	337.913
1995	338.118
1996	338.154
1997	338.403
1998	338.713
1999	337.908
2000	337.935
2001	338.211
2002	338.043
2003	338.004
2004	338.096
2005	338.084
2006	337.623
2007	337.908
2008	338.033
2009	338.299

Relatório do teste de Pettitt aplicado às cotas altimétricas médias interanuais, referentes à estação fluviométrica Jataizinho – 64507000. (Cota zero da régua obtida por técnicas GNSS).

XLSTAT 2015.6.01.25106 - Testes de homogeneidade - em 27/01/2016 às 17:50:51
Séries temporais: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Plan4 / Intervalo = Plan4!$B$1:$B$79 / 78 linhas e 1 coluna
Dados de data: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Plan4 / Intervalo = Plan4!$A$1:$A$79 / 78 linhas e 1 coluna
Nível de significância (%): 5
Tempo máximo (s): 180
Número de simulações: 10000
Semente (números aleatórios): 223630850

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Nível altimétrico(m)	78	0	78	327.948	329.456	328.521	0.298

Teste de Pettitt (Nível altimétrico(m)):

K	1053.000
t	1969
p-valor (bilateral)	< 0,0001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 0s.
Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:
] 0.000; 0.000 [

Interpretação do teste:
H0: Os dados são homogêneos
Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%.

Ano	Nível altimétrico(m)
1932	328.639
1933	328.027
1934	327.988
1935	328.470
1936	328.206
1937	328.478
1938	328.395
1939	328.261
1940	327.993
1941	328.563
1942	328.471
1943	328.132
1944	328.088
1945	328.131
1946	328.668
1947	328.416
1948	328.308
1949	327.948

1950	328.242
1951	328.327
1952	328.157
1953	328.300
1954	328.594
1955	328.452
1956	328.419
1957	328.917
1958	328.383
1959	328.198
1960	328.365
1961	328.523
1962	328.262
1963	328.413
1964	328.328
1965	328.899
1966	328.511
1967	328.354
1968	328.038
1969	328.337
1970	328.597
1971	328.705
1972	328.963
1973	328.770
1974	328.584
1975	328.599
1976	328.876
1977	328.498
1978	328.276
1979	328.435

1980	328.735
1981	328.412
1982	328.888
1983	329.456
1984	328.575
1985	328.278
1986	328.474
1987	328.750
1988	328.388
1989	328.744
1990	329.089
1991	328.369
1992	328.861
1993	328.856
1994	328.528
1995	328.733
1996	328.769
1997	329.018
1998	329.328
1999	328.523
2000	328.550
2001	328.826
2002	328.658
2003	328.619
2004	328.711
2005	328.699
2006	328.238
2007	328.523
2008	328.648
2009	328.914

Relatório do teste de Pettitt aplicado às vazões médias interanuais da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara.

XLSTAT 2015.6.01.25106 - Testes de homogeneidade - em 27/01/2016 às 10:27:54

Séries temporais: Documento = Pasta1 / Planilha = Plan1 / Intervalo = Plan1!$B$1:$B$59 / 58 linhas e 1 coluna

Dados de data: Documento = Pasta1 / Planilha = Plan1 / Intervalo = Plan1!$A$1:$A$59 / 58 linhas e 1 coluna

Nível de significância (%): 5

Tempo máximo (s): 180

Número de simulações: 10000

Semente (números aleatórios): 4342355

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
m3/s	58	0	58	582.000	2660.163	1127.527	440.057

Teste de Pettitt (m3/s):

K	478.000
t	1970
p-valor (bilateral)	0.001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 0s.

Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:

] 0.000; 0.002 [

Interpretação do teste:

H0: Os dados são homogêneos

Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,09%.

Ano	m3/s
1949	587.292
1950	783.000
1951	886.000
1952	597.000
1953	707.000
1954	1195.000
1955	754.000
1956	1041.000
1957	1558.000
1958	963.000
1959	784.000
1960	834.630
1961	947.000
1962	582.000
1963	942.000
1964	740.000
1965	1632.000
1966	1060.000
1967	832.000
1968	699.000
1969	647.000
1970	745.000

1971	1500.000
1972	2557.720
1976	1796.202
1977	1122.130
1978	788.016
1979	686.279
1980	1175.602
1981	883.992
1982	1519.850
1983	2660.163
1984	938.230
1985	771.395
1986	821.021
1987	1309.054
1988	913.709
1989	1394.625
1990	1722.715
1991	1095.290
1992	1431.996
1993	1469.275
1994	962.229
1995	1396.457
1996	1212.077
1997	1806.367
1998	1908.281
1999	1214.421
2000	935.679
2001	1074.325
2002	1058.057
2003	1053.611

2004	1056.674
2005	1138.788
2006	796.743
2007	1001.376
2008	1057.466
2009	1650.810

Relatório do teste de Pettitt aplicado às médias interanuais de cotas fluviométricas da estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e da UHE Capivara.

XLSTAT 2015.6.01.25106 - Testes de homogeneidade - em 27/01/2016 às 12:20:07

Séries temporais: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Pettitt_cota flu / Intervalo = 'Pettitt_cota flu'!$B$1:$B$59 / 58 linhas e 1 coluna

Dados de data: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Pettitt_cota flu / Intervalo = 'Pettitt_cota flu'!$A$1:$A$59 / 58 linhas e 1 coluna

Nível de significância (%): 5

Tempo máximo (s): 180

Número de simulações: 10000

Semente (números aleatórios): 693990108

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Cota fluviométrica (cm)	58	0	58	124.567	921.732	523.549	310.944

Teste de Pettitt (Cota fluviométrica (cm)):

K	819.000
t	1976
p-valor (bilateral)	< 0,0001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 1s.

Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:

] 0.000; 0.000 [

Interpretação do teste:
H0: Os dados são homogêneos
Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados
Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%.

Ano	Cota fluviométrica (cm)
1949	124.567
1950	156.083
1951	168.833
1952	131.250
1953	148.583
1954	201.500
1955	154.167
1956	186.917
1957	239.333
1958	184.417
1959	157.333
1960	165.105
1961	176.750
1962	129.333
1963	176.250
1964	151.000
1965	255.667
1966	194.083
1967	166.083
1968	144.833
1969	137.250
1970	152.250

1971	242.083
1972	335.038
1976	514.687
1977	865.911
1978	865.144
1979	773.993
1980	902.775
1981	656.673
1982	896.783
1983	883.021
1984	746.443
1985	624.945
1986	440.353
1987	849.985
1988	644.444
1989	775.012
1990	872.150
1991	787.401
1992	884.281
1993	873.584
1994	777.524
1995	870.084
1996	768.316
1997	891.391
1998	921.732
1999	772.834
2000	505.099
2001	839.147
2002	838.051
2003	758.440
2004	774.812

2005	809.113
2006	433.940
2007	711.884
2008	750.030
2009	807.143

Relatório do teste de Pettitt aplicado às médias interanuais de cotas altimétricas do Rio Paranapanema, referentes à estação fluviométrica Balsa do Paranapanema – 64515000 e à UHE Capivara. (Cota zero régua obtida no histórico da referida estação fluviométrica).

XLSTAT 2015.6.01.25106 - Testes de homogeneidade - em 27/01/2016 às 12:25:10

Séries temporais: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Pettitt_Nível do rio metros / Intervalo = 'Pettitt_Nível do rio metros'!$B$1:$B$59 / 58 linhas e 1 coluna

Dados de data: Documento = Teste de Pettitt e Mankendall.xlsx / Planilha = Pettitt_Nível do rio metros / Intervalo = 'Pettitt_Nível do rio metros'!$A$1:$A$59 / 58 linhas e 1 coluna

Nível de significância (%): 5

Tempo máximo (s): 180

Número de simulações: 10000

Semente (números aleatórios): 1510473802

Estatísticas descritivas:

Variável	Observações	Obs. com dados faltantes	Obs. sem dados faltantes	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Nível rio(m)	58	0	58	325.246	333.217	329.235	3.109

Teste de Pettitt (Nível rio(m)):

K	819.000
t	1976
p-valor (bilateral)	< 0,0001
alfa	0.05

10000 simulaciones Monte Carlo foram utilizadas para calcular o p-valor. Tempo decorrido: 0s.

Intervalo de confiança de 99% para o p-valor:

] 0.000; 0.000 [

Interpretação do teste:

H0: Os dados são homogêneos

Ha: Há uma data em que houver uma alteração nos dados

Como o p-valor calculado é menor que o nível de significância alfa=0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa Ha.

O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%.

Ano	Nível rio(m)
1949	325.246
1950	325.561
1951	325.688
1952	325.313
1953	325.486
1954	326.015
1955	325.542
1956	325.869
1957	326.393
1958	325.844
1959	325.573
1960	325.651
1961	325.768
1962	325.293
1963	325.763
1964	325.510
1965	326.557
1966	325.941
1967	325.661

1968	325.448
1969	325.373
1970	325.523
1971	326.421
1972	327.350
1976	329.147
1977	332.659
1978	332.651
1979	331.740
1980	333.028
1981	330.567
1982	332.968
1983	332.830
1984	331.464
1985	330.249
1986	328.404
1987	332.500
1988	330.444
1989	331.750
1990	332.722
1991	331.874
1992	332.843
1993	332.736
1994	331.775
1995	332.701
1996	331.683
1997	332.914
1998	333.217
1999	331.728
2000	329.051

2001	332.391
2002	332.381
2003	331.584
2004	331.748
2005	332.091
2006	328.339
2007	331.119
2008	331.500
2009	332.071

ANEXO 3. REGISTROS ACERCA DAS OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE JATAIZINHO: NOTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE DESASTRES – NOPRED, REGISTROS DA COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO PARANÁ – CEPDEC.

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HIG - 12.301	Enchentes ou Inundações Graduais

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
29	12	1989	00:00

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Todo o Município

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	
Desabrigadas	600
Deslocadas	
Desaparecidas	
Levemente Feridas	
Gravemente Feridas	
Enfermas	
Mortas	
Afetadas	

Danos Materiais	Número de Edificações Danificadas	Número de Edificações Destruídas
Residenciais	150	
Públicas		
Comunitárias		
Particulares		

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano Danificadas	Intensidade do Dano Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	○	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	43-9143-4988

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
ORLANDO TEODORO DIAS			03	01	1990

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HIG - 12.301	Enchentes ou Inundações Graduais

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
22	01	1997	09:00

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Todo o Município

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	900
Desabrigadas	
Deslocadas	
Desaparecidas	
Levemente Feridas	
Gravemente Feridas	
Enfermas	
Mortas	
Afetadas	

Danos Materiais	Número de Edificações	
	Danificadas	Destruídas
Residenciais	180	
Públicas	2	
Comunitárias		
Particulares		

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano	
	Danificadas	Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	○	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	(43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		27	01	1997

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.EVD - 12.101	Vendavais ou Tempestades

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
07	11	1997	19:30

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Todo o Município

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	
Desabrigadas	8
Deslocadas	
Desaparecidas	
Levemente Feridas	
Gravemente Feridas	
Enfermas	
Mortas	
Afetadas	

Danos Materiais	Número de Edificações Danificadas	Destruídas
Residenciais	58	
Públicas		
Comunitárias		
Particulares		

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano Danificadas	Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	○	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição: COMDEC - JATAIZINHO

Telefone: (43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		12	11	1997

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

DEFESA CIVIL BRASIL

Notificação Preliminar de Desastre

DEFESA CIVIL PARANÁ

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HEX - 12.302	Enxurradas ou Inundações Bruscas

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
21	03	1998	23:30

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Todo o Município

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	
Desabrigadas	
Deslocadas	
Desaparecidas	
Levemente Feridas	
Gravemente Feridas	
Enfermas	
Mortas	2
Afetadas	

Danos Materiais	Número de Edificações Danificadas	Número de Edificações Destruídas
Residenciais	80	
Públicas		
Comunitárias		
Particulares		

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano Danificadas	Intensidade do Dano Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	○	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	43-9143-4988

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
ORLANDO TEODORO DIAS			26	03	1998

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.EVD - 12.101	Vendavais ou Tempestades

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
12	07	2010	19:30

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Parte da Zona Urbana: conjuntos abtacionais (guido zanini,milton feliz,vila frederico,manoel novinsk)

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

vendaval de aproximadamente 80 km por hora, durante aproximadamente 2 minutos.

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	02
Desabrigadas	0
Deslocadas	0
Desaparecidas	0
Levemente Feridas	0
Gravemente Feridas	0
Enfermas	0
Mortas	0
Afetadas	11

Danos Materiais	Número de Edificações Danificadas	Número de Edificações Destruídas
Residenciais	03	0
Públicas	0	0
Comunitárias	0	0
Particulares	0	0

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano Danificadas	Intensidade do Dano Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	●	○
Sistema de Transporte	○	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	(43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		17	07	2010

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HEX - 12.302	Enxurradas ou Inundações Bruscas

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
18	03	2007	08:20

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Parte da Zona Urbana: PARTE DA ZONA URBANA (CONJ. ANTONIO JOSÉ VIEIRA, RUA BRASÍLIA, RUA ORLANDO GOMES E RUA TIBAJI. PARTE DA ZONA RURAL: DUAS PONTES DANIFICADAS, A SEÇÃO JANGANDA, ROSEIRA E AGUA DO TIGRINHO, AGUA BRANCA E AGUA DO PARIS, CINCO MANILHAS DANIFICADAS NOS LOCAIS ACIMA DESCRITO. , Parte da Zona Rural: PARTE DA ZONA URBANA (CONJ. ANTONIO JOSÉ VIEIRA, RUA BRASÍLIA, RUA ORLANDO GOMES E RUA TIBAJI. PARTE DA ZONA RURAL: DUAS PONTES DANIFICADAS, A SEÇÃO JANGANDA, ROSEIRA E AGUA DO TIGRINHO, AGUA BRANCA E AGUA DO PARIS, CINCO MANILHAS DANIFICADAS NOS LOCAIS ACIMA DESCRITO.

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

Aumento rápido dos Rios Jataizinho e Couro do Boi, alagando 50 residências as suas margens.

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	0
Desabrigadas	0
Deslocadas	200
Desaparecidas	0
Levemente Feridas	0
Gravemente Feridas	0
Enfermas	0
Mortas	0
Afetadas	0

Danos Materiais	Número de Edificações Danificadas	Destruídas
Residenciais	50	0
Públicas	01	0
Comunitárias	0	0
Particulares	0	0

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano Danificadas	Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	●	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	(43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		23	03	2007

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HIG - 12.301	Enchentes ou Inundações Graduais

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
19	10	2009	14:00

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Zona Urbana

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

Enchente no Rio Jataizinho ocasionada por chuvas intensas. O Rio Jataizinho desemboca no Rio Tibagi que tambpem se enconatrava acima do seu leito normal.

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	115
Desabrigadas	06
Deslocadas	0
Desaparecidas	0
Levemente Feridas	0
Gravemente Feridas	0
Enfermas	0
Mortas	0
Afetadas	203

Danos Materiais	Número de Edificações	
	Danificadas	Destruídas
Residenciais	0	0
Públicas	0	0
Comunitárias	0	0
Particulares	0	0

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano	
	Danificadas	Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	○	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	(43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		24	10	2009

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6° Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HEX - 12.302	Enxurradas ou Inundações Bruscas

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
29	01	2010	08:00

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Todo o Município

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

De acordo com a SANEPAR, a a média do mês de janeiro é de 200 mm (mês fechado) sendo que no dia do evento choveu 185 mm em 24 horas.

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	0
Desabrigadas	0
Deslocadas	0
Desaparecidas	0
Levemente Feridas	0
Gravemente Feridas	0
Enfermas	0
Mortas	0
Afetadas	1100

Danos Materiais	Número de Edificações Danificadas	Número de Edificações Destruídas
Residenciais	0	0
Públicas	0	0
Comunitárias	0	0
Particulares	0	0

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano Danificadas	Intensidade do Dano Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	●	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	(43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		03	02	2010

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC

Notificação Preliminar de Desastre

1. Tipificação

Código	Denominação
NE.HEX - 12.302	Enxurradas ou Inundações Bruscas

2. Data da Ocorrência

Dia	Mês	Ano	Horário
19	06	2012	16:00

3. Localização

UF	Município
PR	Jataizinho

4. Área Afetada - Descrição da Área Afetada

Todo o Município

5. Causas do Desastre - Descrição do Evento e suas Características

Chuva torrenciais de aprox. 170 mm que afetaram todo o município ocasionando danos materiais e famílias desabrigadas.

6. Estimativa de Danos

Danos Humanos	Número de Pessoas
Desalojadas	0
Desabrigadas	280
Deslocadas	0
Desaparecidas	0
Levemente Feridas	0
Gravemente Feridas	0
Enfermas	0
Mortas	0
Afetadas	1500

Danos Materiais	Número de Edificações	
	Danificadas	Destruídas
Residenciais	38	0
Públicas	2	0
Comunitárias	0	0
Particulares	0	0

Serviços Essenciais	Intensidade do Dano	
	Danificadas	Destruídas
Abastecimento de Água	○	○
Abastecimento de Energia	○	○
Sistema de Transporte	●	○
Sistema de Comunicações	○	○

7. Instituição Informante

Nome da Instituição	Telefone
COMDEC - JATAIZINHO	(43) 3259-1316

Nome do Informante	Cargo	Assinatura	Dia	Mês	Ano
DORIVAL PEREIRA DUARTE	Exonerado		24	06	2012

8. Instituições Informadas

	Informada
Coordenadoria Estadual de Defesa Civil	●
Coordenadoria Regional de Defesa Civil	●

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC
Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" 6º Andar
Brasília/DF
70067-901

Telefones:
(061) 3414-5925
(061) 3414-5806
Fax: (061) 3226-7588

Jardim Alegre:

Data do Desastre	COBRADE	Pessoas Afetadas
16/07/2015 18:35	Enxurradas	11
22/12/2014 10:30	Enxurradas	2
19/09/2014 04:00	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	85
06/06/2014 23:00	Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas	47
16/11/2013 18:00	Enxurradas	15
29/10/2008 19:00	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	500
20/01/2007 00:30	Inundações	162
17/11/2003 04:30	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	8
01/01/1997 00:00	Inundações	0
23/09/1995 00:00	Tempestade Local/Convectiva - Granizo	0
01/06/1992 00:00	Inundações	0
19/06/1991 00:00	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	0
15/08/1987 00:00	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	0
25/08/1984 00:00	Estiagem	0
25/09/1981 00:00	Tempestade Local/Convectiva - Granizo	0
15/12/1980 00:00	Inundações	0
	Totais do município:	830

Jardim Olinda:

Data do Desastre	COBRADE	Pessoas Afetadas
12/01/2016 23:00	Enxurradas	300
20/01/1997 00:00	Inundações	0
01/05/1984 00:00	Estiagem	0
	Totais do município:	300

Jataizinho:

Data do Desastre	COBRADE	Pessoas Afetadas
11/01/2016 13:30	Enxurradas	6.151
13/11/2015 16:45	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	5
25/06/2013 06:30	Alagamentos	80
23/01/2013 09:00	Doenças infecciosas virais	200
19/06/2012 16:00	Enxurradas	11.859
12/07/2010 19:30	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	11
29/01/2010 08:00	Enxurradas	1.100
19/10/2009 14:00	Inundações	203
23/07/2009 16:28	Transporte de produtos perigosos rodoviário	3
15/10/2008 08:30	Transporte de produtos perigosos rodoviário	5
18/03/2007 08:20	Enxurradas	60
18/03/2004 00:26	Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos	0
29/09/1998 16:00	Alagamentos	0
21/03/1998 23:30	Enxurradas	0
07/11/1997 19:30	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	0
22/01/1997 09:00	Inundações	0
29/12/1989 00:00	Inundações	0
01/05/1984 00:00	Estiagem	0
01/12/1981 00:00	Tempestade Local/Convectiva - Vendaval	0
	Totais do município:	19.677

ANEXO 4. SCRIPTS DOS TESTES DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA EFETUADOS NO SOFTWARE R.

Script do teste de regressão linear múltipla efetuado no *software* r, referente ao Cenário 1.

```
> fit <- lm(Y ~ X1 + X2 + X4G + X9B, data=Cenario1)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1 + X2 + X4G + X9B, data = Cenario1)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0.0024075 -0.0007538 -0.0001501  0.0004914  0.0059808

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.031e-04  5.910e-05   3.436 0.000632 ***
X1           4.881e-01  1.821e-01   2.681 0.007552 **
X2          -4.099e-01  1.814e-01  -2.259 0.024226 *
X4G          2.633e-05  1.506e-06  17.486  < 2e-16 ***
X9B         -5.012e-04  1.841e-04  -2.722 0.006677 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.001186 on 578 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5142,                    Adjusted R-squared:  0.5108
F-statistic: 152.9 on 4 and 578 DF,  p-value: < 2.2e-16

> fit <- lm(Y ~ X1 + X4G + X9B, data=Cenario1)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1 + X4G + X9B, data = Cenario1)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0.0024213 -0.0007779 -0.0001383  0.0004763  0.0056650

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.180e-04  5.893e-05   3.699 0.000237 ***
X1           7.706e-02  7.305e-03  10.549  < 2e-16 ***
X4G          2.671e-05  1.502e-06  17.788  < 2e-16 ***
X9B         -7.420e-04  1.506e-04  -4.926  1.1e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.00119 on 579 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5099,                    Adjusted R-squared:  0.5074
F-statistic: 200.8 on 3 and 579 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

```
> step <- stepAIC(fit, direction="backward")
Start:  AIC=-7847.89
Y ~ X1 + X4G + X9B

       Df  Sum of Sq        RSS     AIC
<none>              0.00081956 -7847.9
- X9B   1 0.00003435 0.00085390 -7826.0
- X1    1 0.00015751 0.00097707 -7747.4
- X4G   1 0.00044789 0.00126745 -7595.7
> fit <- lm(Y ~ X1 + X1B + X1C + X1D + X2 + X2B + X2C + X2D + X2E + X2F +
X4 + X4B + X4C + X4D + X4E + X4F + X4G + X9 + X9B + X9C + X9D + X9G + X9H,
data=Cenario1)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1 + X1B + X1C + X1D + X2 + X2B + X2C + X2D +
    X2E + X2F + X4 + X4B + X4C + X4D + X4E + X4F + X4G + X9 +
    X9B + X9C + X9D + X9G + X9H, data = Cenario1)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0.0024047 -0.0007246 -0.0001110  0.0004936  0.0054483

Coefficients: (2 not defined because of singularities)
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.145e-04  1.070e-04   2.938 0.003435 **
X1          -1.289e+00  4.313e-01  -2.990 0.002916 **
X1B          5.770e+00  1.418e+00   4.069 5.39e-05 ***
X1C         -2.385e+00  1.244e+00  -1.918 0.055621 .
X1D          4.246e+00  2.057e+00   2.064 0.039470 *
X2                NA         NA      NA       NA
X2B               NA         NA      NA       NA
X2C         -1.214e+00  7.066e+00  -0.172 0.863697
X2D         -2.182e+01  7.339e+00  -2.973 0.003074 **
X2E          2.542e+01  6.912e+00   3.677 0.000259 ***
X2F         -8.651e+00  2.945e+00  -2.937 0.003449 **
X4          1.044e-05  7.956e-06   1.312 0.189961
X4B          8.794e-06  8.124e-06   1.083 0.279479
X4C         -9.305e-06  8.003e-06  -1.163 0.245477
X4D          7.702e-06  7.617e-06   1.011 0.312358
X4E         -1.207e-06  7.781e-06  -0.155 0.876823
X4F          1.851e-06  7.572e-06   0.245 0.806930
X4G          2.120e-05  4.771e-06   4.443 1.07e-05 ***
X9          1.799e-04  2.181e-04   0.825 0.409814
X9B         -1.564e-04  2.157e-04  -0.725 0.468681
X9C          8.106e-05  3.677e-04   0.220 0.825607
X9D         -1.364e-04  2.522e-04  -0.541 0.588899
X9G         -1.828e-04  2.858e-04  -0.639 0.522794
X9H         -9.104e-04  3.186e-04  -2.858 0.004427 **
---
```

```
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.001122 on 561 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5778,                    Adjusted R-squared:  0.562
F-statistic: 36.56 on 21 and 561 DF,  p-value: < 2.2e-16

> fit <- lm(Y ~ X1B + X2E + X4G + X9H, data=Cenario1)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1B + X2E + X4G + X9H, data = Cenario1)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0.0026018 -0.0007630 -0.0001321  0.0004520  0.0060871

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.842e-04  5.652e-05   3.259 0.001184 **
X1B          4.380e-01  1.152e-01   3.802 0.000158 ***
X2E         -3.658e-01  1.147e-01  -3.189 0.001506 **
X4G          2.653e-05  1.458e-06  18.200  < 2e-16 ***
X9H         -9.779e-04  2.122e-04  -4.607 5.02e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.001167 on 578 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5293,                    Adjusted R-squared:  0.526
F-statistic: 162.5 on 4 and 578 DF,  p-value: < 2.2e-16

> fit <- lm(Y ~ X1B + X4G + X9H, data=Cenario1)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1B + X4G + X9H, data = Cenario1)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0.0026448 -0.0007652 -0.0001226  0.0004270  0.0056475

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.826e-04  5.697e-05   3.205  0.00143 **
X1B          7.142e-02  7.295e-03   9.791  < 2e-16 ***
X4G          2.786e-05  1.408e-06  19.782  < 2e-16 ***
X9H         -1.255e-03  1.952e-04  -6.431 2.66e-10 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.001176 on 579 degrees of freedom
```

```
Multiple R-squared:  0.521,                    Adjusted R-squared:  0.5185
F-statistic: 209.9 on 3 and 579 DF,  p-value: < 2.2e-16

> step <- stepAIC(fit, direction="backward")
Start:  AIC=-7861.25
Y ~ X1B + X4G + X9H

       Df  Sum of Sq        RSS     AIC
<none>               0.00080098 -7861.3
- X9H   1 0.00005721 0.00085819 -7823.0
- X1B   1 0.00013261 0.00093360 -7773.9
- X4G   1 0.00054135 0.00134233 -7562.2

> fit <- lm(Y ~ X1B + X4G + X9H, data=Cenario1)
> anova(fit)

> fit <- lm(Y ~ X1B + X4G, data=Cenario1)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1B + X4G, data = Cenario1)

Residuals:
      Min        1Q    Median        3Q       Max
-0.0025567 -0.0007480 -0.0002339  0.0004927  0.0056536

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1.473e-04  5.864e-05   2.512   0.0123 *
X1B         7.975e-02  7.425e-03  10.741   <2e-16 ***
X4G         2.955e-05  1.431e-06  20.648   <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.001216 on 580 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4868,                    Adjusted R-squared:  0.485
F-statistic: 275.1 on 2 and 580 DF,  p-value: < 2.2e-16

> step <- stepAIC(fit, direction="backward")
Start:  AIC=-7823.03
Y ~ X1B + X4G

       Df  Sum of Sq        RSS     AIC
<none>               0.00085819 -7823.0
- X1B   1 0.00017072 0.00102891 -7719.3
- X4G   1 0.00063082 0.00148901 -7503.8
```

Script do teste de regressão linear múltipla efetuado no *software* r, referente ao Cenário 2.

```
Call:
lm(formula = Y ~ X1B + X4B + X9B + X10B, data = Cenario2_Regressao_dados_inundacao_e_parte_igual_inundacao)

Residuals:
   Min      1Q  Median      3Q     Max
-2.1576 -0.8095 -0.0857  0.6498  2.4871

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 224.485943  30.650747   7.324 3.97e-10 ***
X1B           0.339652   0.092407   3.676 0.000474 ***
X4B           0.040539   0.004627   8.761 1.03e-12 ***
X9B          -0.207336   0.610075  -0.340 0.735031
X10B          0.002082   0.238638   0.009 0.993065
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 1.039 on 67 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7482,                    Adjusted R-squared:  0.7331
F-statistic: 49.77 on 4 and 67 DF,  p-value: < 2.2e-16

> step <- stepAIC(fit, direction="backward")
Start:  AIC=10.39
Y ~ X1B + X4B + X9B + X10B

       Df Sum of Sq     RSS    AIC
- X10B  1     0.000  72.393  8.392
- X9B   1     0.125  72.517  8.516
<none>              72.393 10.391
- X1B   1    14.597  86.990 21.617
- X4B   1    82.935 155.327 63.358

Step:  AIC=8.39
Y ~ X1B + X4B + X9B

       Df Sum of Sq     RSS    AIC
- X9B   1     0.219  72.612  6.609
<none>              72.393  8.392
- X1B   1    15.906  88.299 20.692
- X4B   1    86.347 158.739 62.923

Step:  AIC=6.61
Y ~ X1B + X4B

       Df Sum of Sq     RSS    AIC
<none>              72.612  6.609
```

- X1B 1 15.688 88.300 18.693
- X4B 1 131.219 203.830 78.925

Script do teste de regressão linear múltipla efetuado no *software* r, referente ao Cenário 3.

```
> library(readxl)
> Cenario3_Regressao_somente_inundacao <- read_excel("E:/Disco Local C/RODRIGO/DOUTORADO/DADOS TESE/DADOS VAZÃO_COTA/Rio Tibagi/4_Regressão Multipla/Regressões Definitivas Corrigidas/Cenario3_Regressao_somente_inundacao.xls",
+     sheet = "dados_normalizados_definitivos")
> View(Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
> fit <- lm(Y ~ X1 + X1B + X1H + X2 + X2G + X4 + X4B + X9D + X9E, data=Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1 + X1B + X1H + X2 + X2G + X4 + X4B + X9D +
    X9E, data = Cenario3_Regressao_somente_inundacao)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.45648 -0.75112  0.05503  0.31174  2.84689

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -9.400e-14  1.640e-01   0.000    1.000
X1           5.382e-01  6.747e-01   0.798    0.432
X1B         -7.136e-01  1.219e+00  -0.585    0.563
X1H         -8.225e-01  1.796e+00  -0.458    0.651
X2                  NA         NA      NA       NA
X2G          8.808e-01  2.204e+00   0.400    0.693
X4           9.394e-02  2.655e-01   0.354    0.726
X4B          2.958e-01  2.786e-01   1.062    0.298
X9D          4.060e-02  3.405e-01   0.119    0.906
X9E          4.849e-01  4.203e-01   1.154    0.259

Residual standard error: 0.9841 on 27 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2529,    Adjusted R-squared:  0.03157
F-statistic: 1.143 on 8 and 27 DF,  p-value: 0.368

> fit <- lm(Y ~ X1 + X1B + X1H + X4 + X4B + X9D + X9E, data=Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1 + X1B + X1H + X4 + X4B + X9D + X9E, data = Cenario3_Regressao_somente_inundacao)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-1.4402 -0.7093  0.0425  0.3644  2.7949
```

```
Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.685e-14  1.615e-01   0.000    1.000
X1           4.246e-01  6.026e-01   0.705    0.487
X1B         -3.412e-01  7.743e-01  -0.441    0.663
X1H         -1.440e-01  5.784e-01  -0.249    0.805
X4           1.067e-01  2.596e-01   0.411    0.684
X4B          2.643e-01  2.632e-01   1.004    0.324
X9D          8.634e-02  3.159e-01   0.273    0.787
X9E          3.859e-01  3.345e-01   1.154    0.258

Residual standard error: 0.9692 on 28 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2485,                    Adjusted R-squared:  0.06063
F-statistic: 1.323 on 7 and 28 DF,  p-value: 0.2765

> fit <- lm(Y ~ X1B + X1H + X4 + X4B + X9D + X9E,
data=Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1B + X1H + X4 + X4B + X9D + X9E, data =
Cenario3_Regressao_somente_inundacao)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-1.3618 -0.6713  0.0164  0.4182  2.6834

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.938e-14  1.601e-01   0.000    1.000
X1B          1.350e-01  3.748e-01   0.360    0.721
X1H         -2.305e-01  5.603e-01  -0.411    0.684
X4           1.624e-01  2.451e-01   0.663    0.513
X4B          2.390e-01  2.585e-01   0.925    0.363
X9D          6.961e-02  3.123e-01   0.223    0.825
X9E          4.084e-01  3.301e-01   1.237    0.226

Residual standard error: 0.9608 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2352,                    Adjusted R-squared:  0.07694
F-statistic: 1.486 on 6 and 29 DF,  p-value: 0.2178

> library(MASS)
> step <- stepAIC(fit, direction="backward")
Start:  AIC=3.33
Y ~ X1B + X1H + X4 + X4B + X9D + X9E

       Df Sum of Sq    RSS    AIC
- X9D   1   0.04587 26.815 1.3954
- X1B   1   0.11973 26.888 1.4944
```

```
- X1H   1   0.15628 26.925 1.5433
- X4    1   0.40524 27.174 1.8746
- X4B   1   0.78899 27.558 2.3795
- X9E   1   1.41322 28.182 3.1858
<none>             26.769 3.3337

Step:  AIC=1.4
Y ~ X1B + X1H + X4 + X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS      AIC
- X1B   1   0.08137 26.896 -0.49557
- X1H   1   0.11214 26.927 -0.45440
- X4    1   0.49603 27.311  0.05523
- X4B   1   0.74842 27.563  0.38638
<none>             26.815  1.39536
- X9E   1   1.79834 28.613  1.73221

Step:  AIC=-0.5
Y ~ X1H + X4 + X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS      AIC
- X1H   1   0.03108 26.927 -2.45399
- X4    1   0.42662 27.323 -1.92902
- X4B   1   1.08100 27.977 -1.07697
<none>             26.896 -0.49557
- X9E   1   1.80627 28.702 -0.15561

Step:  AIC=-2.45
Y ~ X4 + X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS     AIC
- X4    1    0.4531 27.380 -3.8532
- X4B   1    1.1287 28.056 -2.9758
<none>             26.927 -2.4540
- X9E   1    3.9558 30.883  0.4805

Step:  AIC=-3.85
Y ~ X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS     AIC
<none>             27.380 -3.8532
- X9E   1    4.7205 32.101 -0.1271
- X4B   1    4.7301 32.110 -0.1163
> fit <- lm(Y ~ X9E + X4B, data=Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X9E + X4B, data =
Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
```

```
Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-1.31214 -0.73784  0.00853  0.51825  2.72724

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 6.198e-14  1.518e-01   0.000   1.0000
X9E         3.783e-01  1.586e-01   2.385   0.0230 *
X4B         3.787e-01  1.586e-01   2.388   0.0228 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.9109 on 33 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2177,                    Adjusted R-squared:  0.1703
F-statistic: 4.592 on 2 and 33 DF,  p-value: 0.0174

> fit <- lm(Y ~ X1B + X1H + +X1H + X2 + X2G + X4 + X4B + X9D + X9E,
data=Cenario3_Regressao_somente_inundacao)
> summary(fit)

Call:
lm(formula = Y ~ X1B + X1H + +X1H + X2 + X2G + X4 + X4B + X9D +
    X9E, data = Cenario3_Regressao_somente_inundacao)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-1.36101 -0.67954  0.01247  0.41652  2.68692

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.069e-14  1.629e-01   0.000    1.000
X1B          9.599e-02  6.712e-01   0.143    0.887
X1H         -3.422e-01  1.681e+00  -0.204    0.840
X2                  NA         NA      NA       NA
X2G          1.402e-01  1.985e+00   0.071    0.944
X4           1.628e-01  2.495e-01   0.652    0.519
X4B          2.429e-01  2.689e-01   0.903    0.374
X9D          6.162e-02  3.373e-01   0.183    0.856
X9E          4.251e-01  4.109e-01   1.035    0.310

Residual standard error: 0.9777 on 28 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2353,                    Adjusted R-squared:  0.04415
F-statistic: 1.231 on 7 and 28 DF,  p-value: 0.3194

> step <- stepAIC(fit, direction="backward")
Start:  AIC=5.33
Y ~ X1B + X1H + +X1H + X2 + X2G + X4 + X4B + X9D + X9E


Step:  AIC=5.33
```

```
Y ~ X1B + X1H + X2G + X4 + X4B + X9D + X9E

      Df Sum of Sq    RSS    AIC
- X2G   1   0.00476 26.769 3.3337
- X1B   1   0.01955 26.784 3.3536
- X9D   1   0.03190 26.796 3.3702
- X1H   1   0.03960 26.803 3.3805
- X4    1   0.40683 27.171 3.8704
- X4B   1   0.78014 27.544 4.3617
- X9E   1   1.02310 27.787 4.6778
<none>              26.764 5.3273

Step:  AIC=3.33
Y ~ X1B + X1H + X4 + X4B + X9D + X9E

      Df Sum of Sq    RSS    AIC
- X9D   1   0.04587 26.815 1.3954
- X1B   1   0.11973 26.888 1.4944
- X1H   1   0.15628 26.925 1.5433
- X4    1   0.40524 27.174 1.8746
- X4B   1   0.78899 27.558 2.3795
- X9E   1   1.41322 28.182 3.1858
<none>              26.769 3.3337

Step:  AIC=1.4
Y ~ X1B + X1H + X4 + X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS      AIC
- X1B   1   0.08137 26.896 -0.49557
- X1H   1   0.11214 26.927 -0.45440
- X4    1   0.49603 27.311  0.05523
- X4B   1   0.74842 27.563  0.38638
<none>              26.815  1.39536
- X9E   1   1.79834 28.613  1.73221

Step:  AIC=-0.5
Y ~ X1H + X4 + X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS      AIC
- X1H   1   0.03108 26.927 -2.45399
- X4    1   0.42662 27.323 -1.92902
- X4B   1   1.08100 27.977 -1.07697
<none>              26.896 -0.49557
- X9E   1   1.80627 28.702 -0.15561

Step:  AIC=-2.45
Y ~ X4 + X4B + X9E

      Df Sum of Sq    RSS     AIC
- X4    1    0.4531 27.380 -3.8532
```

```
- X4B   1    1.1287 28.056 -2.9758
<none>              26.927 -2.4540
- X9E   1    3.9558 30.883  0.4805

Step:  AIC=-3.85
Y ~ X4B + X9E

       Df Sum of Sq    RSS     AIC
<none>              27.380 -3.8532
- X9E   1    4.7205 32.101 -0.1271
- X4B   1    4.7301 32.110 -0.1163
> summary(step)

Call:
lm(formula = Y ~ X4B + X9E, data = Cenario3_Regressao_somente_inundacao)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-1.31214 -0.73784  0.00853  0.51825  2.72724

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 6.198e-14  1.518e-01   0.000   1.0000
X4B         3.787e-01  1.586e-01   2.388   0.0228 *
X9E         3.783e-01  1.586e-01   2.385   0.0230 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 0.9109 on 33 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2177,                    Adjusted R-squared:  0.1703
F-statistic: 4.592 on 2 and 33 DF,  p-value: 0.0174.
```