

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Programa de Pós- Graduação em Geociências e Meio Ambiente

**Morfologia e hidrodinâmica em rios multicanais (“anabranching”): exemplo do
alto rio Paraná**

Priscila Panzarini Gon

Rio Claro- SP

Junho, 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Programa de Pós- Graduação em Geociências e Meio Ambiente

**Morfologia e hidrodinâmica em rios multicanais (“anabranching”): exemplo do
alto rio Paraná**

Priscila Panzarini Gon

Orientador: Prof. Dr. José Cândido Stevaux

Dissertação de Mestrado elaborada no Instituto de Geociências e Ciências Exatas do *Campus* de Rio Claro, da Universidade Estadual Julio Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

Rio Claro- SP

Junho, 2012

551.4a Gon, Priscila Panzarini
G635m Morfologia e hidrodinâmica em rios multicanais
("anabanching"): exemplo do alto rio Paraná / Priscila
Panzarini Gon. - Rio Claro : [s.n.], 2012
69 f. : il., figs., gráfs., quadros, fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: José Cândido Stevaux

1. Geomorfologia. 2. Geomorfologia fluvial. 3.
Multicanal. 4. Potência específica de canal. 5. Van Rijn. I.
Título.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Cândido Stevaux
Universidade Estadual de Maringá (PR)

Prof. Dr. Maximiliano Bayer
Universidade Federal de Goiás/ Campus II Samambaia/ Goiânia (GO)

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Priscila Panzarini Gon

Rio Claro, 13 de abril de 2012

Resultado: Aprovada

Aos meus amados pais Silvia e Jair.

Agradecimentos

Ao professor *José Cândido Stevaux* pela orientação, confiança, empenho e paciência não somente durante a realização deste trabalho, mas em todo o tempo de convivência.

Aos meus pais *Jair Severino Gon* e *Silvia Mara Panzarini Gon*, por todo amor recebido e suporte para que eu chegasse até essa etapa da minha carreira.

Ao *Rodolpho Camargo Melo Farinacio* não somente pela ajuda com este trabalho, mas também pelo amor, carinho, compreensão, paciência e companheirismo durante todos esses anos.

Aos amigos do GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente). Em especial à amiga, "irmã", companheira de trabalho e de república *Rafaela Harumi Fujita* por cada ano de amizade e aprendizagem. Em especial também a *Edinéia Grizio*, pela amizade e a hospitalidade em Maringá; à *Thalita Dal Santo* pela grande ajuda com a granulometria; e ao *Rafael Stevaux* pela ajuda em campo.

Aos amigos feitos em Rio Claro *Bruno Araujo*, *Renato Guerreiro*, *Michelle Tizuka*, *Leonardo Brasil* e *Homero Melo Junior* por todas as conversas, trocas de experiências e incentivos recebidos.

À *Vanessa Cristina dos Santos*, *Isabel Leli* e *Fabrcio Corradini* pelas contribuições ao longo deste trabalho.

À *Rosangela Vacelo* por todo o carinho e atenção durante minha permanência em Rio Claro.

Aos familiares tanto *Panzarini* quanto *Gon*, pela torcida e pelo apoio recebidos. Em especial à minha tia *Sônia Regina Panzarini* por acreditar em minhas escolhas profissionais desde o princípio.

Aos amigos do *Colégio Thathi COC- Araçatuba*, pelo incentivo durante o decorrer do curso, em especial à *Sthéfani Silva* pela ajuda com a correção da dissertação.

À *CAPES* pela concessão parcial da bolsa.

"Correm as águas do rio
Passam na agulheta do tempo
A mesma água não volta, nem pelo fio
Não repete a sua passagem, observo, lembro
A vida é como esse rio
Na superfície a velocidade instantânea
No fundo as correntes pesadas
As pedras roladas, as plantas prezadas
O que se esconde e funde no leito
Escorregadio que com os tempos feitos
Pouco mudam, pouco nadam
A vida de um rio, não é só a água que passa
É as margens descoladas, divididas
São quem passa quem refresca
É a vida num todo que se compõe
É quem mergulha, quem acha
Quem muda, leva ou põe
É quem toca no fundo
Traz a vida que mergulha num rio também"

Hugo Runa Inácio

Resumo

A dinâmica do escoamento fluvial é importante para a compreensão das forças atuantes no funcionamento dos processos morfogenéticos fluviais, seja na fase de erosão, de transporte ou de sedimentação. Os rios classificados como multicanais (anabranching) apresentam um diversificado grupo de rios aluviais abrangendo canais múltiplos e interconectados separados por ilhas aluviais grandes e estáveis, que dividem o fluxo. O estudo de parâmetros hidráulicos assim como o transporte e deposição de sedimentos em rios classificados como multicanais torna-se importante uma vez que esse tipo de padrão é o mais frequente nos sistemas fluviais de grande porte. O presente trabalho visa estudar a distribuição de energia, e da carga de fundo bem como a morfologia em um trecho multicanal do alto rio Paraná. A bacia do rio Paraná é a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul, com uma área 3,1 milhões de km², cuja drenagem principal (rio Paraná e o seu formador rio Grande) tem cerca de 3.965 km. O trecho de estudo compreende uma extensão de 53 km delimitada por dois pontos em que o rio escoar através de um único canal: a montante Porto São José e a jusante Porto 18, que possuem uma vazão de margens plenas em torno de 17780 m³/s. O estudo foi feito com a medição de parâmetros hidráulicos e coleta de material de fundo, no trecho multicanal e nos pontos nodais para efeito de comparação, os dados foram tratados por meio de estatísticas, gerando tabelas, gráficos e mapas, que demonstram como a energia está sendo distribuída neste sistema. No trecho de estudo foram encontrados até 6 canais secundários que o fluxo pode se dividir. A relação alta de largura/profundidade desses canais tende a diminuir quando o número de canais aumenta, ao contrário do que acontece com a potência específica de canal. Assim é possível concluir que a divisão do canal pela formação de ilhas produz um aumento na sua eficiência, neste trabalho medida pelo transporte de carga de fundo.

Palavras-chave: Multicanal, Potência específica de canal, Van Rijn, Rio Paraná.

Abstract

The dynamics of river flow is important for understanding the forces acting on the functioning of river morphogenetic processes in the erosion, transport and sedimentation phases. Rivers classified as anabranching constitutes a diverse group of alluvial rivers with multiple channels separated by large and stable alluvial islands that divide the flow. The study of hydraulic parameters as well as the transport and deposition of sediments in rivers classified as anabranching since this type of pattern is most common in large river systems. The present work aims to study the morphology, energy distribution, and bed load distribution in a multichanneled reach of the upper Paraná River. The Paraná basin is the second largest river basin in South America, with an area of 3.1 million square kilometers, whose main drain (Paraná River and its former Rio Grande) is about 3965 km. The study includes a anabranching stretch of 53 km extension defined by two node-points, from Porto de São José to Porto 18, State of Paraná, Brazil. The bankfull discharge at this reach is 17 780 m³/s. The study measured the hydraulic parameters and collected bed load in all channels of the multichannelled stretch. Data were analyzed and compared statistics generating tables, graphs and maps. It was possible to observe, how-energy is being distributed in this system. Were found up to six secondary channels that flow can be divided. The high ratio width / depth of these channels tend to decrease when the number of channels increases unlike what happens with the stream power specific. So it's possible to conclude that the division of the channel by the formation of islands produces an increase in its efficiency, as measured by bed load transport.

Keywords: Anabranching, Specific Stream Power, Van Rijn, Paraná River.

Sumário

1-Introdução	1
2-Objetivos e Justificativa	3
2.1- Objetivo geral.....	3
2.2-Objetivos específicos.....	3
2.3-Justificativa.....	3
3-Área de estudo	5
4-Revisão teórica- metodológica	13
4.1-Rios multicanais (<i>anabranching</i>): conceituação.....	13
4.2-Máxima Eficiência de Fluxo e Princípio da Menor Ação.....	16
5-Trabalho de campo, métodos e técnicas	18
6-Resultados e Discussão	27
6.1- Morfologia planar e transversal do trecho multicanal.....	27
6.2- Hidráulica do trecho.....	32
6.3- Material sedimentar do leito.....	42
7-Conclusão	47
8- Referências	49
9- Anexos	53
Anexo A.....	54
Anexo B.....	65
Anexo c.....	66

Lista de Figuras

Figura-1: Localização da bacia hidrográfica do rio da Prata, onde a bacia hidrográfica do rio Paraná está inserida juntamente com as bacias hidrográficas do rio Paraguai e Uruguai (Fonte: Martins, 2008).....	5
Figura-2: Localização da área de estudo com relação à barragem de Porto Primavera (Fonte: Martins, 2008).....	6
Figura-3: Margem esquerda do rio Paraná na região de Porto Rico, PR. Afloramento de arenito médio, avermelhado, pouco feldspático, com estratificação cruzada de grande porte de origem eólica da Formação Caiuá (Fluxo da água da esquerda para a direita).....	7
Figura 4- Bloco-diagrama da calha do Alto rio Paraná na região de Porto Rico-PR (Baseado em SOUZA FILHO, 1993; STEVAUX, 1993; SANTOS, 1997; SANTOS & STEVAUX, 2001; FORTES et al, 2005). Fonte: Cremon, É. (2009).....	8
Figura- 5: Canal secundário do rio Paraná. Dois tipos de margem vegetada. À esquerda margem com vegetação arbórea e a direita o barranco encontra-se protegido por vegetação gramínea em terreno pantanoso.....	9
Figura- 6: Vazões médias mensais na estação Porto São José 1964-2007 (Fonte: Santos, 2010).....	10
Figura- 7: Vista parcial do trecho multicanal estudado (sentido do fluxo é para o interior da foto). À esquerda vê-as a margem paranaense constituída por arenito da Fm. Caiuá. É marcante também a ocorrência de barras arenosas e formas de leito de grande porte (dunas) no canal.....	11
Figura- 8: Localização do trecho de estudo.....	12
Figura- 9: Classificação dos sistemas multicanais proposta por Nanson e Knighton (1996).....	15
Figura- 10: Mapa de localização das seções de estudo.....	19
Figura- 11: Diagrama de Shields, 1936 (Fonte: Santos, 2010).....	24
Figura- 12: Correlação entre o número de canais e a declividade.....	29
Figura- 13: Relação largura/profundidade entre os canais das seções de estudo.....	29
Figura- 14: Correlação entre o número de canais e a relação largura/profundidade.....	30

Figura- 15: Relações longitudinais ao longo dos 53 km do trecho de estudo.....	31
Figura- 16: Demonstrativo das diversas Q_b da estação de Porto São José, alto rio Paraná.....	34
Figura- 17: Mapa de distribuição espacial da vazão no trecho de estudo.....	36
Figura- 18: Perfis de velocidade de seções de estudo com diferentes números de canais.....	37
Figura- 19: Correlação entre o número de canais e a velocidade do fluxo.....	38
Figura- 20: Mapa de distribuição espacial da velocidade do fluxo no trecho de estudo.....	39
Figura- 21: Correlação entre o número de canais e a potência de canal específica.....	40
Figura- 22: Mapa de distribuição espacial da potência de canal específica.....	41
Figura-23: Correlação entre o número de canais e o deslocamento do material de fundo.....	43
Figura 24- Granulometrias das seções que possuem canais que caracterizam depósitos de deixa ao longo do trecho de estudo.....	44
Figura 25- Granulometrias das seções que possuem canais que caracterizam depósitos de deixa ao longo do trecho de estudo.....	45
Figura- 26: Relações entre a velocidade média, profundidade média e deslocamento da carga sedimentar de fundo de cada canal.....	46

Lista de Quadros

Quadro- 1: Parâmetros utilizados para o cálculo do coeficiente de Manning (Fonte: Bravard e Petit, 2000).....	21
Quadro-2: Dados morfológicos referentes às seções de estudo.....	27
Quadro- 3: Parâmetros hidráulicos referentes às seções de estudos.....	31
Quadro- 4: Somatória das vazões por seção de estudo.....	34
Quadro 5- Aferição em campo do nível da água através de observação da régua fluviométrica da ANA na estação de Porto São José.....	34
Quadro- 6: Somatória das potências de canal específicas por seção de estudo.....	40
Quadro- 7: Resultados do deslocamento do material de leito do rio pelo método de Van Rijn. Valores anômalos em negrito (ver explicação no texto).....	42
Quadro- 8: Somatória do deslocamento de material de fundo em cada seção de estudo.....	42

Lista de Abreviaturas e Siglas

ADCP- Acoustic Doppler Current Profiler

ANA- Agência Nacional das Águas

d- profundidade

GPS- Global Positioning System

NUPÉLIA- Núcleo de Pesquisas em Limnologia Ictiologia e Aqüicultura

qb- Van Rijn

Qb- vazão de margens plenas

Qcampo- vazão instantânea medida em campo

Qd- vazão dominante

Qe- vazão efetiva

Qf- vazão formadora

Qm- Vazão média

SUDERHSA- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

w- largura

ω - potência de canal específica

1-Introdução

Os rios são de grande importância para a atividade humana. Atualmente a maior parte encontra-se sob intenso uso, seja pela instalação de reservatórios e usinas hidrelétricas, pelo fornecimento de água para irrigação, consumo urbano/ industrial, navegação, lazer ou, como é mais comum, por duas ou mais dessas atividades. As mudanças que ocorrem na dinâmica e na morfologia fluvial são processos naturais, mas podem ser acelerados ou induzidos por ações antrópicas, que alteram demasiadamente as características da evolução natural dos sistemas, impondo novas condições que podem não ser favoráveis a sua dinâmica e ecologia fluvial original (LATRUBESSE, et al., 2005).

A dinâmica do escoamento fluvial é de extrema importância para a compreensão das forças atuantes no funcionamento dos processos morfogenéticos fluviais, seja na fase de erosão, de transporte ou de sedimentação. Em rios aluviais a água e a carga transportada são os agentes modeladores do sistema fluvial, e estão envolvidos na definição não apenas na capacidade do canal (área e morfologia da seção transversal) como também na construção dos diferentes padrões fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981; KNIGHTON, 1998; STEVAUX & SOUZA, 2004).

A geometria hidráulica consiste em analisar medidas quantitativas dos fatores que ajudam a determinar a forma de um curso d'água, fatores tais como largura, profundidade, velocidade e carga sedimentar (Leopold e Maddock, 1953). O entendimento da geometria hidráulica de canais serve como um excelente ponto de partida para o entendimento de uma bacia hidrográfica. Essa análise leva a compreensão da evolução da rede de canais, e é possível a integração de dados com a geologia e a geomorfologia da área em estudo.

Os rios classificados como multicanais (anabranching) englobam um diversificado grupo de rios aluviais abrangendo canais múltiplos e interconectados separados por ilhas aluviais grandes e estáveis, que dividem o fluxo (NANSON e KNIGHTON, 1996; KNIGHTON, 1998; NANSON e HUANG, 1999). O estudo de parâmetros hidráulicos assim como o transporte e deposição de sedimentos em rios classificados como multicanais são importantes na comparação com rios de canal único, com outros rios multicanais de grandeza ou mesmo de regiões climáticas diversas e como apoio ao gerenciamento fluvial. Estudos como o de Jansen e Nanson (2004) mostram uma maior eficiência do fluxo associados ao padrão multicanal em comparação a trechos de canal único. Os autores verificaram também que um rio multicanal pode permanecer estável, em equilíbrio dinâmico, em

circunstâncias que um canal contínuo único seria incapaz de manter os sedimentos em transporte.

As condicionantes para a formação de canais múltiplos, apresentadas por Huang e Nanson (2000), foram baseadas no princípio do “mínimo esforço” (“least action principle”, NANSON et al., 2007). Contudo Nanson et al (2007) utilizaram como área de estudo o rio Magela (Austrália) que difere totalmente do rio Paraná por sua dimensão ($Q_m = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ versus $Q_m = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) e pelo clima (semi-árido versus tropical). Além disso, trabalhos sobre rios multicanais, embora relativamente frequentes na literatura, abordam sempre trechos curtos de rios de pequeno porte (NANSON e KNIGHTON, 1996; KNIGHTON, 1998; NANSON e HUANG, 1999; JANSEN e NANSON, 2004; NANSON e HUANG, 2008; JANSEN e NANSON 2010). Foi provavelmente Latrubesse (2008) que efetuou a primeira abordagem de caráter geral desse tipo de padrão de canal em rios amazônicos de grandes dimensões. São esses, portanto os motivos para aplicar estes estudos no Brasil, que é uma área de clima quente e úmido e conseqüentemente com rios de regime de fluxos adaptados a essas condições.

2-Objetivos e Justificativa

2.1-Objetivo Geral:

Entender a distribuição de energia e da carga de fundo, bem como a morfologia da seção transversal de um trecho multicanal do rio Paraná

2.2-Objetivos Específicos:

- Medição de vazão, velocidade e estrutura do fluxo entre os canais
- Morfologia dos canais
- Determinação das características texturais da carga de fundo
- Determinação da declividade hidráulica nos múltiplos canais
- Determinação da distribuição da potência de canal específica (specific stream power)
- Estruturação da distribuição de energia no sistema
- Comparar a eficiência do canal em termos da carga de fundo transportada e a energia utilizada entre o canal único e os trechos multicanais

2.3-Justificativa

Embora Latrubesse (2008) tenha incluído pela primeira vez os grandes rios tropicais na categoria multicanal, o autor não aborda os processos nem a dinâmica que atuam nesses sistemas. Este tema foi apenas mencionado por Jansen & Nanson (2004), como foi mencionado, em rios de pequeno porte e clima totalmente diferente dos grandes rios tropicais. O estudo compreende um trecho multicanal de 53 km entre duas barragens no rio Paraná, que consiste em um rio de grande extensão e com alta vazão. No trabalho de Jansen & Nanson (2010) os autores fizeram medições hidrológicas e determinação da distribuição da energia, entre outros estudos para analisar um trecho multicanal de 8,5 km de extensão na Austrália em um clima mais árido.

No presente trabalho a metodologia é testada em clima úmido, podendo assim, não somente fornecer mais dados para o entendimento do funcionamento do canal do rio Paraná, bem como fornecer informações para o entendimento de sistemas de rios aluviais com regime tropical de padrão multicanal nesta condição climática mais úmida.

A relação entre o número de canais e declividade já foi mencionada por outros autores (Nanson & Huang, 1996; Latrubesse, 2008), mas este é o primeiro trabalho que quantifica essa correlação por meio de uma equação.

3-Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio da Prata, com uma área de aproximadamente 3 milhões de km², dos quais 45,6% encontram-se em território brasileiro, 29,7% estão na Argentina, 13,2% no Paraguai, 6,6% na Bolívia e 4,8% no Uruguai. (Fig. 1). A drenagem principal (rio Paraná e o seu formador rio Grande) tem cerca de 3.965 km (ORFEO & STEVAUX 2002). Atualmente grande parte da bacia hidrográfica do rio Paraná em terras brasileiras, encontra-se sob o controle de barragens por ser uma área de grande contingente populacional e por consequência uma área bastante explorada no setor energético e industrial. Apenas nos 200 km entre a barragem de Porto Primavera e o remanso do lago de Itaipu o rio corre em seu leito natural (STEVAUX, 1994).



Figura-1: Localização da bacia hidrográfica do rio da Prata, onde a bacia hidrográfica do rio Paraná está inserida juntamente com as bacias hidrográficas do rio Paraguai e Uruguai (Fonte: Martins, 2008).

A barragem de Porto Primavera é a mais recente barragem no alto rio Paraná, sua construção foi iniciada na década de 1980 e finalizada em 1998. A área deste estudo começa a partir de aproximadamente 35 km dessa barragem (Porto São José), sofrendo, portanto com algumas mudanças ambientais provocadas por esse tipo de modificação antrópica. Estudos como o de Crispim (2001) e Stevaux et al. (2009) mostram mudanças como: redução do volume e da velocidade do fluxo, redução da carga suspensa e acúmulo de sedimentos grosseiros no leito do canal, devido a falta de capacidade do fluxo para movimentar esse material.

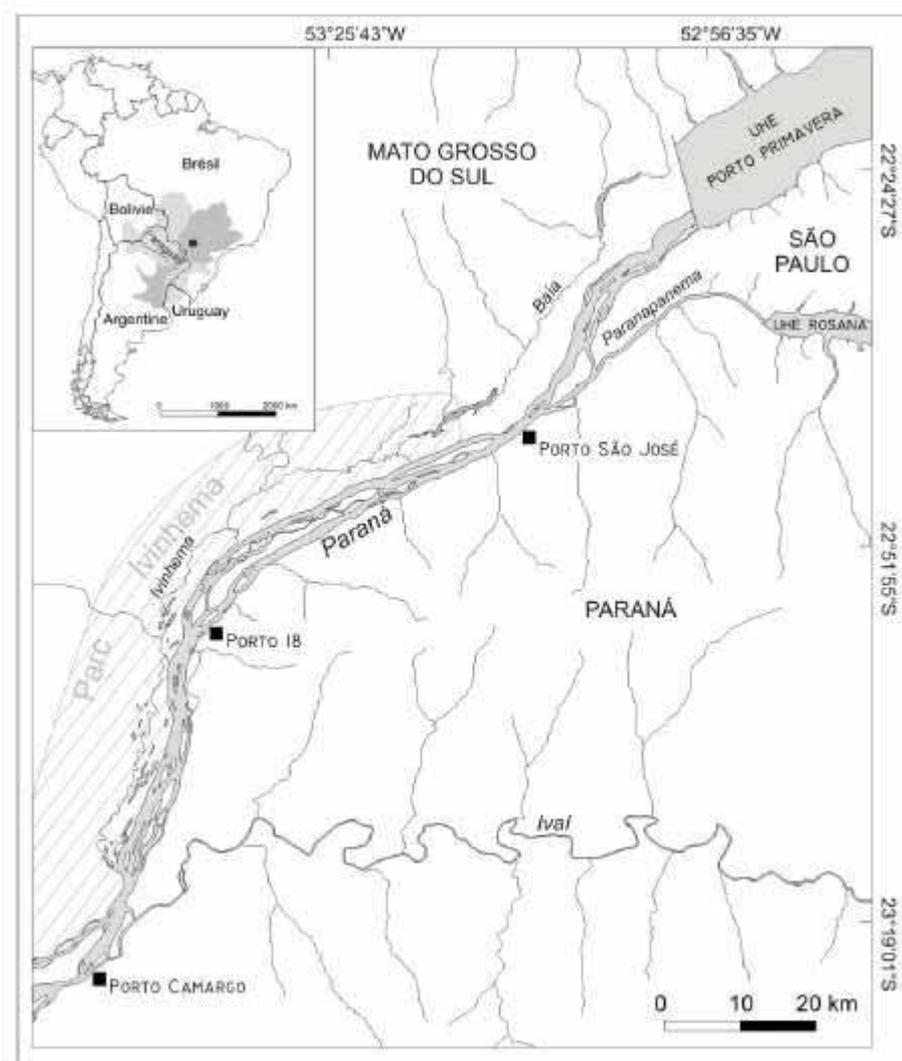


Figura-2: Localização da área de estudo com relação à barragem de Porto Primavera (Fonte: Martins, 2008).

Por seu tamanho a bacia do alto rio Paraná (ca. 800.000km²) inclui uma variedade imensa de rochas que abrangem desde o embasamento cristalino até as sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná. O trecho estudado é em sua maioria composto por depósitos aluviais do próprio rio Paraná que se assentam sobre arenitos cretáceos bem selecionados, com granulação bimodal, fina e média, com estratificação cruzada de grande porte de origem eólica da Formação Caiuá. Esta litologia aflora por toda margem esquerda paranaense (Fig. 3) e em alguns pontos mais profundos do canal. Já o lado mato-grossense é caracterizado por depósitos quaternários inconsolidados do próprio rio, originando planícies e um terraço aluvial (Fig.4) datado do final do Pleistoceno (SANTOS & STEVAUX, 2000). Esse terraço, denominado na figura 4 como Terraço baixo tem sua zona retrabalhada marcada por depósitos de areia fina com estratificação cruzada, lentes de areia grossa e média com estratificação cruzada acanalada, lentes com forma de canal de argila arenosa maciça e na base no limite com os

arenitos da Formação Caiuá ocorrem seixos e areia seixosa maciça com estratificações cruzada tabular.

Os estudos sobre a evolução e os processos que originaram os terraços, e a planície aluvial apresentam abordagens variadas. Stevaux (1993), Souza Filho (1993), e Santos (1997) fizeram uma abordagem com base em alterações do clima no Quaternário, que teriam condicionado o modelado do relevo da região. No entanto Fortes et al. (2003, 2007) expõem que em maior parte do conjunto há significativa influência da tectônica recente, onde a calha do rio Paraná estaria condicionada a um modelo de falhas antitéticas.



Figura-3: Margem esquerda do rio Paraná na região de Porto Rico, PR. Afloramento de arenito médio, avermelhado, pouco feldspático, com estratificação cruzada de grande porte de origem eólica da Formação Caiuá (Fluxo da água da esquerda para a direita).

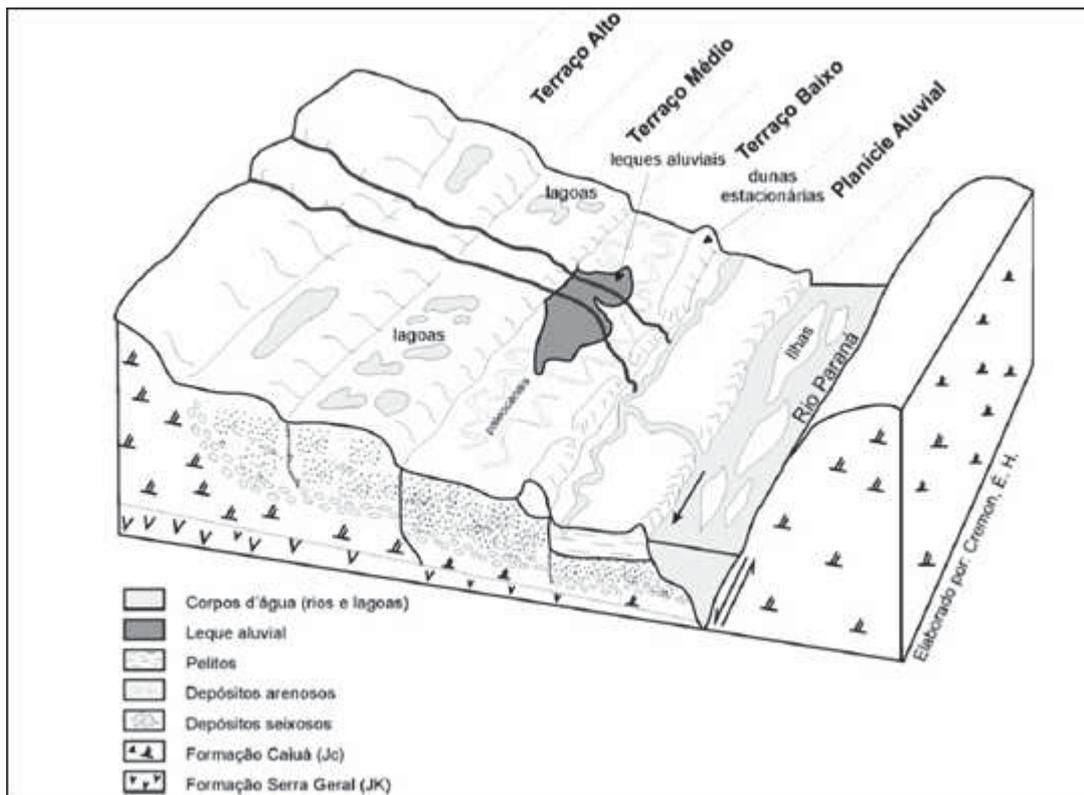


Figura 4- Bloco-diagrama da calha do Alto rio Paraná na região de Porto Rico-PR (Baseado em SOUZA FILHO, 1993; STEVAUX, 1993; SANTOS, 1997; SANTOS & STEVAUX, 2001; FORTES et al, 2005). Fonte: Cremon, É. (2009).

A vegetação original da área de estudo, compreende o domínio do Cerrado no lado do Mato Grosso do Sul, com campos povoados por árvores esparsas e segundo Roderjan, et al. (2002) no lado paranaense encontra-se Floresta Estacional Semidecidual, composta por várzeas e matas ciliares (Fig. 5). A distribuição das espécies, entre esses domínios de vegetação está relacionada à rede de drenagem do rio Paraná e de seus afluentes (SOUZA et al., 1997 *apud* CORRADINI, 2006).

Há também na área de estudo vegetação não- florestal, que se aloja em áreas de formações pioneiras com influência fluvial. Nos terrenos úmidos e encharcados da planície, *ressacos*, canais secundários e lagoas, onde ocorre maior sedimentação, encontra-se uma vegetação palustre representada por *Panicum sp*, *Paspalum repens*, *Sagitaria montevidensis*, *Pontederia sp* e *Ludwigia spp*, dentre outras (IBGE, 1992 *apud* CORRADINI, 2006).



Figura- 5: Canal secundário do rio Paraná. Dois tipos de margem vegetada. À esquerda margem com vegetação arbórea e a direita o barranco encontra-se protegido por vegetação gramínea em terreno pantanoso.

A tipologia climática de acordo com a classificação de Köppen é: *cfa*-Clima temperado quente, com a temperatura média do mês mais frio entre 18 e - 3°C; ausência de estação seca, chuva em todos os meses, a precipitação média do mês mais seco é superior a 60 mm e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°.

O trecho de estudo apesar de estar em uma área de clima temperado quente, nesta área o rio Paraná, apresenta um regime hidrológico de rio tropical continental que possui chuvas concentradas nos meses de verão e estiagem nos meses de inverno. Seus formadores, rio Grande e rio Paranaíba, e parte do próprio rio Paraná encontra-se em área tropical, o que fornece esse tipo de regime para o trecho de estudo. De acordo com Fernandez et al., (2000), Martins (2008) e Santos (2010) há a ocorrência de dois ciclos anuais bem definidos: período de cheia nos meses de verão (dezembro a março) e um período de vazante que vai de maio a novembro (Fig. 6).

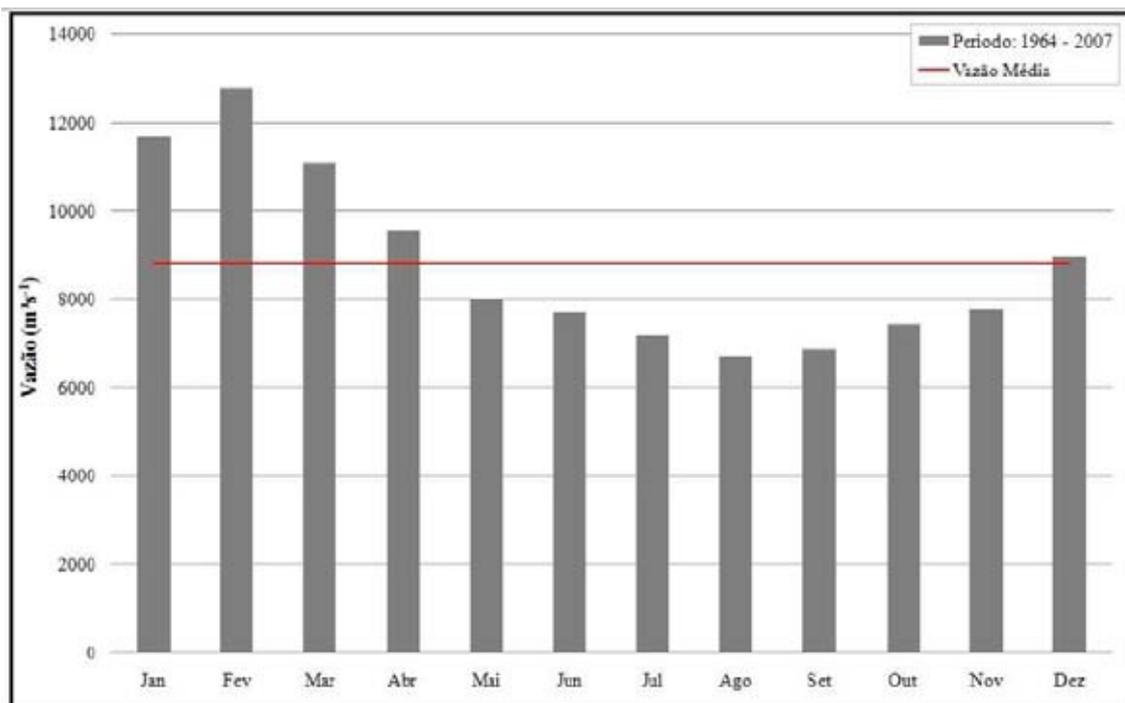


Figura- 6: Vazões médias mensais na estação Porto São José 1964-2007 (Fonte: Santos, 2010).

O trecho escolhido para este trabalho compreende desde o Porto São José ($22^{\circ}45'52''$ S e $53^{\circ}10'34''$ W) a montante do setor de estudo até o Porto 18 ($22^{\circ}58.331'$ S e $53^{\circ}36.523'$ W) a jusante do setor de estudo (Fig.8). A área de estudo compreende municípios ribeirinhos paranaenses de São Pedro do Paraná, Porto Rico e Querência do Norte. O lado sul mato-grossense encontra-se inteiramente no município de Taquarussu. O trecho encontra-se inserido no Parque Estadual das Ilhas e Várzeas do Rio Ivinheima e, exceto onde se encontram as pequenas povoações, as margens e ilhas do rio Paraná estão vegetadas e bastante preservadas.

O trecho multicanal (Fig.7) é constituído por cerca de quatro dezenas de ilhas de tamanho variado que se agrupam em dois arquipélagos: Mutum e Japonesa-Floresta. As três maiores ilhas alocadas na área de estudo são Mutum com aproximadamente 15 km de comprimento e em média 600 m de largura, a ilha Japonesa com aproximadamente 15 km de comprimento e em média 700 m de largura e a ilha Floresta que é a mais extensa com cerca de 25 km de comprimento e em média 1,5 km de largura. As outras ilhas variam entre 100 e 1000m. As ilhas da área são comprovadamente estáveis, estudos como o de Stevaux et al., (2009) descrevem que por meio de datação foram encontradas ilhas com aproximadamente 1,9 ka BP.

O trecho estudado é definido por dois pontos nodais (seções de canal único): Porto São José e Porto 18. Segundo Stevaux (1993), pontos nodais são utilizados como parâmetros correlativos às seções a jusante do sistema, pois é

nestes locais onde é possível aferir a energia do escoamento da água concentrada e depois comparar quando ela se divide pelos múltiplos canais.



Figura- 7: Vista parcial do trecho multicanal estudado (sentido do fluxo é para o interior da foto). À esquerda vê-as a margem paranaense constituída por arenito da Fm. Caiuá. É marcante também a ocorrência de barras arenosas e formas de leito de grande porte (dunas) no canal.

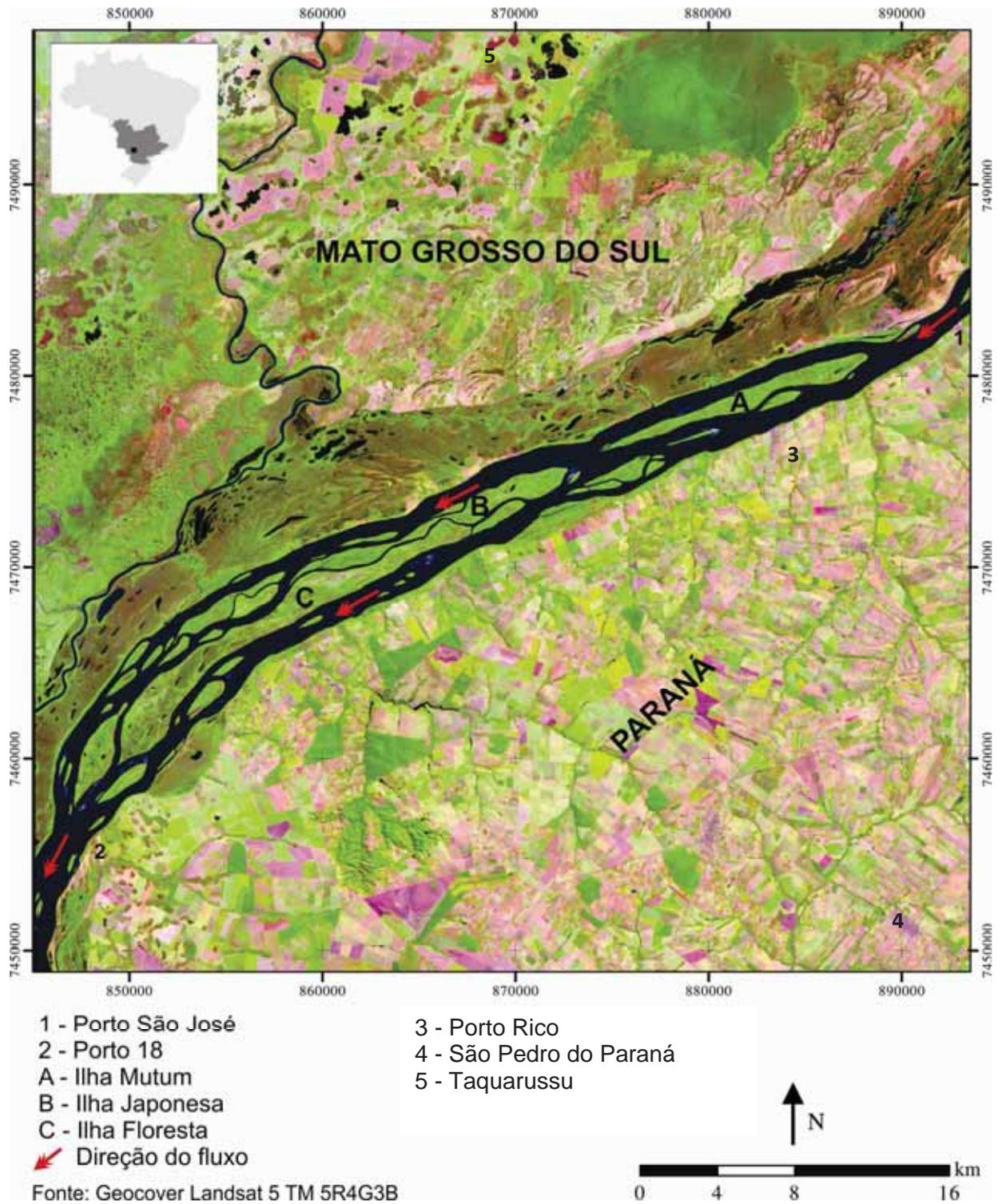


Figura- 8: Localização do trecho de estudo.

4-Revisão teórica- metodológica

Quando o assunto tratado é nomenclatura de padrões canais de drenagem, existem três tipos clássicos estabelecidos: meandrante, retilíneo e trançado (LEOPOLD e WOLMAN, 1957, KNIGHTON, 1998). No entanto há tempos pesquisadores têm discutido sobre um novo padrão denominado de *anabranching*. Abaixo segue uma discussão sobre a terminologia e a dinâmica hidrossedimentar desse tipo de canal.

4.1-Rios multicanais (*anabranching*)

O padrão multicanal é definido por um conjunto de canais interconectados separados por ilhas aluviais estáveis que dividem o fluxo (NANSON e KNIGHTON, 1996; KNIGHTON, 1998; NANSON e HUANG, 1999). Excluem-se de sistemas multicanais aqueles canais que se dividem, mas não voltam a se reunir como no caso de canais deltaicos ou de leques aluviais e aqueles com ilhas separadas por canais com leito rochoso, ou extensas áreas de aluviões antigos (NANSON e KNIGHTON, 1996).

De acordo com Nanson e Knighton (1996) sistemas multicanais ocorrem em praticamente todos ambientes e climas – de regiões montanhosas com leito de cascalho e fluxos controlados pelo degelo, a planícies tropicais úmidas; de planícies semi-áridas e grandes sistemas monçônicos. Os referidos autores classificam os sistemas multicanais em seis tipos com base no fluxo de energia, tamanho dos sedimentos e características morfológicas, os autores reconhecem seis tipos de rio multicanal (Fig.9):

-Tipo 1: são rios de sedimentos coesivos (comumente denominados de anastomosados) com canais que apresentam pouca ou nenhuma migração lateral. Este tipo é dividido em 3 subtipos:

a) Sistemas orgânicos; é caracterizado por: ampla planície de inundação de material orgânico, seu material de fundo é caracterizado por areia fina e pouca carga suspensa. Neste sistema a agradação da carga de fundo e o crescimento da vegetação aquática concomitantemente, atenua o fluxo do canal, induzindo, periodicamente, a avulsão;

b) Sistemas organo- clásticos: neste sistema são encontrados sedimentos clásticos e orgânicos, sua planície é recoberta por sedimento fino. A carga de fundo é arenosa e algumas vezes até cascalho, neste sistema é comum a acreção rápida da planície de inundação diminuindo seu gradiente;

c) Sistemas dominados por lama: ocorre em um ambiente lamoso, nestes sistemas os canais têm gradiente baixo e acreção lenta, transporta

pouca carga de fundo e nas margens e planície de inundação há lama clástica muito coesiva. Este subtipo é o que menos recebe influência da vegetação.

- Tipo 2: rios que possuem em maior quantidade sedimentos arenosos e ilhas que formam novos canais.

- Tipo 3: rios que possuem carga sedimentar coesa, misturada com arenosa e possuem meandros ativos.

Os três primeiros tipos são rios classificados com baixa energia e os três restantes, alta energia:

- Tipo 4: são rios que possuem em maior quantidade sedimentos arenosos e barras paralelas e longas formando novos canais.

- Tipo 5: rios que possuem em sua carga sedimentar maior quantidade de cascalhos, ficam na interface entre rio sinuoso e trançado, em regiões montanhosas.

- Tipo 6: rios que possuem também cascalho em maior parte na carga sedimentar, são sistemas estáveis em pequenas bacias relativamente íngremes.

Canais múltiplos não impedem sinuosidade e entrelaçamento, embora sejam associados comumente com canais lateralmente estáveis. Na verdade, canais múltiplos ocorrem como trechos com o desenvolvimento de processos específicos que definem esse padrão, podendo, portanto ocorrer simultaneamente a outros tipos (Fig.9).

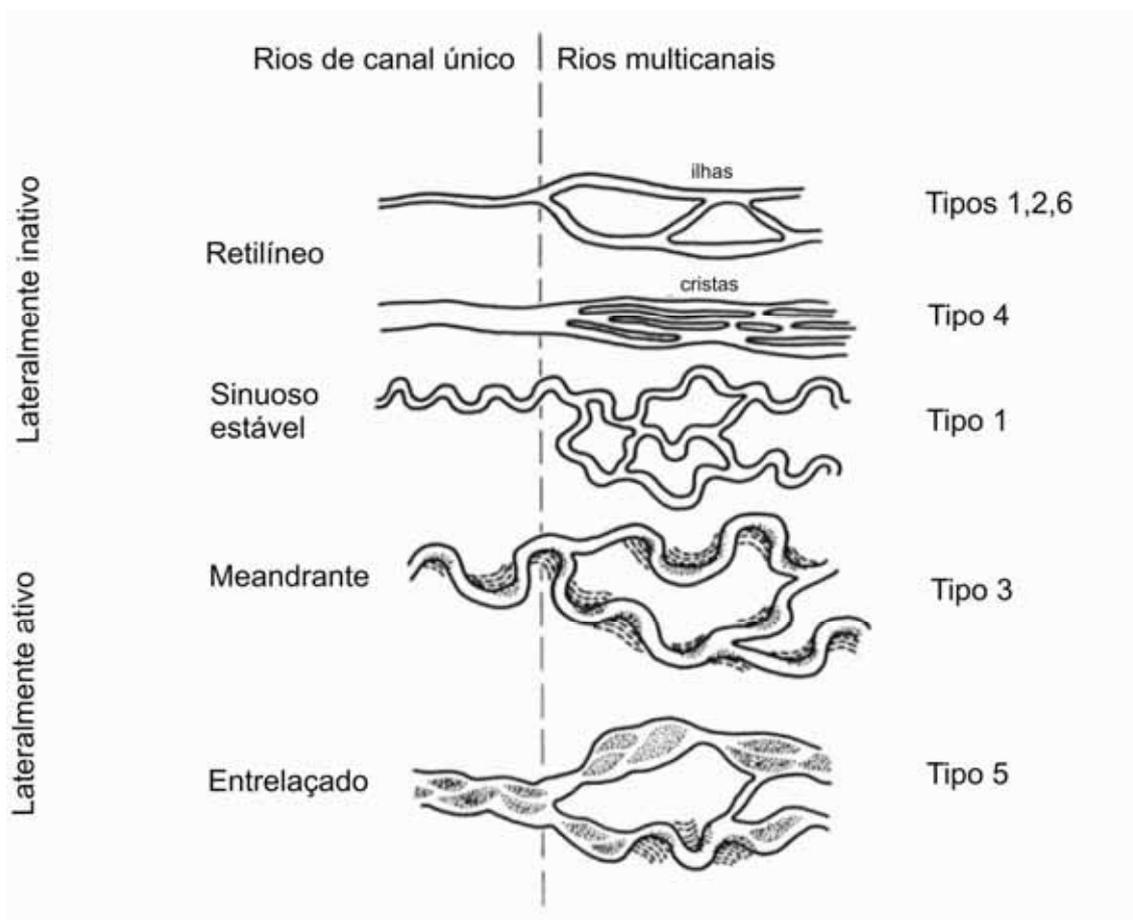


Figura- 9: Classificação dos sistemas multicanais proposta por Nanson e Knighton (1996).

Os sistemas multicanais como um todo em seu estado ideal são mais largos e mais rasos (alta relação w/d) do que seria um sistema de canal único ideal. No entanto os canais do sistema multicanal são individualmente mais estreitos e profundos do que seria um canal único, e transporta a mesma quantidade de sedimentos (HUANG e NANSON, 2007). Isso ocorre porque a combinação do raio hidráulico dos canais múltiplos é maior (hidraulicamente mais eficiente) do que para um único canal carregando o mesmo fluxo (CHARLTON, 2008).

Canais estreitos só podem se formar onde os depósitos da parede do canal são coesos (geralmente argilo-siltosos) ou com margem bem vegetada. A instabilidade, de outra modo, pode levar o colapso da margem e conseqüentemente a ampliação do canal (CHARLTON, 2008). Se os canais de um rio com padrão multicanal são incapacitados de manter a relação largura/profundidade baixa, as vantagens de ser multicanal são perdidas.

Em qualquer multicanal segundo Nanson e Knighton (1996), em oposição ao sistema trançado, as ilhas geralmente persistem por décadas ou séculos, constituindo um substrato bem estabelecido pela vegetação e a

estabilidade das margens. Stevaux et al. (2009) encontraram idades entre 1,9 ka BP para as ilhas do alto rio Paraná no trecho estudado. As ilhas nesse tipo de sistema estão aproximadamente na mesma elevação que a planície de inundação e os canais entre as ilhas podem ser trançados, sinuosos ou retos (STEVAUX et al. 2012 no prelo).

Os multicanais são formados por dois processos principais: rompimento de dique marginal e por erosão diferencial da margem. No primeiro caso a formação do novo canal se ocorre durante o fluxo de cheia, quando uma das margens é rompida e a água flui sobre a várzea. Se o fluxo é suficientemente concentrado, um novo canal pode ser feito, eventualmente rejuntando outro canal a jusante (CHARLTON, 2008). No segundo caso a composição diferencial da margem pode intercalar trechos com sedimentos argilo-siltosos, mais coesos, com trechos arenosos (paleocanais) mais facilmente erodíveis. A pressão do fluxo sobre esses trechos pode originar uma frente erosiva que, com a continuidade do processo gera um novo canal. Esse fenômeno é observado no rio Apure, nos “Llanos Venezolanos” (STEVAUX com. pes.)

Alguns canais só são ativos durante vazões de cheia, atuando como um sistema distributario para dispersar e armazenar água e sedimentos (NANSON e HUANG, 1999), a exemplo da ilha Bananal no rio Araguaia- TO. Existem canais também que são abandonados quando ficam cheios com sedimento, talvez como resultado de um bloqueio ou porque o fluxo é desviado em outros lugares (JANSEN e NANSON, 2004). Stevaux e Souza (2004) rio alto rio Paraná identificaram uma avulsão do canal principal do rio ocorrida entre 2.800 e 3200 anos AP provavelmente pelo bloqueio do canal com sedimento.

4.2-Máxima Eficiência de Fluxo e Princípio da Menor Ação

Huang e Nanson (2000) definem máxima eficiência de fluxo como a capacidade máxima de transporte de sedimentos por unidade de energia de fluxo (*stream power*) disponível, uma condição com o equilíbrio dinâmico. Segundo Nanson e Knighton (1996) e Nanson e Huang (1999), a adoção de múltiplos canais pode servir para aumentar a eficiência de fluxo de alguns rios, mas nem todos dos rios multicanais são ajustados para a máxima eficiência.

O princípio do mínimo esforço, ou menor ação expõe que a potência de canal específica (ω) (que representa a energia que o rio tem disponível para erodir e transportar água e sedimento) seja aplicada de modo em que haja menor gasto energético possível.

De acordo com Nanson e Huang (2008) os rios são muitas vezes produto de um equilíbrio e, por vezes, um desequilíbrio, entre o trabalho realizado e a energia consumida. E em muitos casos não é toda a energia

disponível de um rio que é usada para fazer o trabalho. Existem três possibilidades:

- (1) o rio pode ter mais energia do que o necessário para movimentar a água e sedimento, caso em que tem energia excedente e é instável;
- (2) tem exatamente a energia que é exigida, neste caso é estável;
- (3) o rio pode ter um déficit de energia, que também irá resultar em instabilidade, mas diferente da causada pela energia excedente.

Rios com excesso de energia consomem alguma da sua energia excedente na forma de perdas por atrito ao longo da ineficiente largura de seções transversais. De acordo com Jansen e Nanson (2004) a dissipação de energia pode ser realizada através de deformações no canal como a criação de barras ou meandros. O equilíbrio resultante são canais ajustados para ter disponível apenas a energia necessária para mover a água e sedimento fornecidos (NANSON E HUANG, 2008).

Em situações em que o rio tem energia insuficiente (carga de fundo em excesso) e a declividade do canal não pode ser aumentada suficientemente, a divisão de um único canal em ramificações segundo Huang e Nanson (2007), poderia reforçar o movimento do sedimento com o sistema multicanal atingindo o equilíbrio estável. No entanto isso só pode ocorrer quando um fator exógeno, como a vegetação ciliar permite uma redução adequada da largura dos canais.

5-Trabalho de campo, métodos e técnicas

Foram determinadas 14 seções transversais de acordo com a divisão dos canais observados em imagens e mapas da área de estudo (Fig. 10). As seções foram numeradas em ordem crescente de montante para jusante, e os canais secundários foram denominados por letras também em ordem alfabética crescente partindo sempre do PR sentido MS. No campo (Fevereiro de 2011) em cada seção foram coletados dados de velocidade, direção de fluxo, profundidade e vazão utilizando um Perfilador Acústico de Efeito Doppler (ADCP). As seções foram georeferenciadas a partir de uma EcoSSonda / GPS, marca Furuno, modelo GP 1650-F ligada a um computador portátil. Todos os aparelhos foram fixados em uma embarcação de metal cedida pelo Núcleo de Pesquisas em Limnologia Ictiologia e Aqüicultura (NUPÉLIA), da Universidade Estadual de Maringá. Em campo também foi aferido o nível da água obtido na régua fluviométrica sob os cuidados da ANA (Agência Nacional de Águas) localizada na estação de Porto São José (Fig.8). As anotações feitas em campo (datas, horários, vazão, largura das seções e textura aparente do material de fundo) foram digitalizadas e encontram-se no anexo deste trabalho.

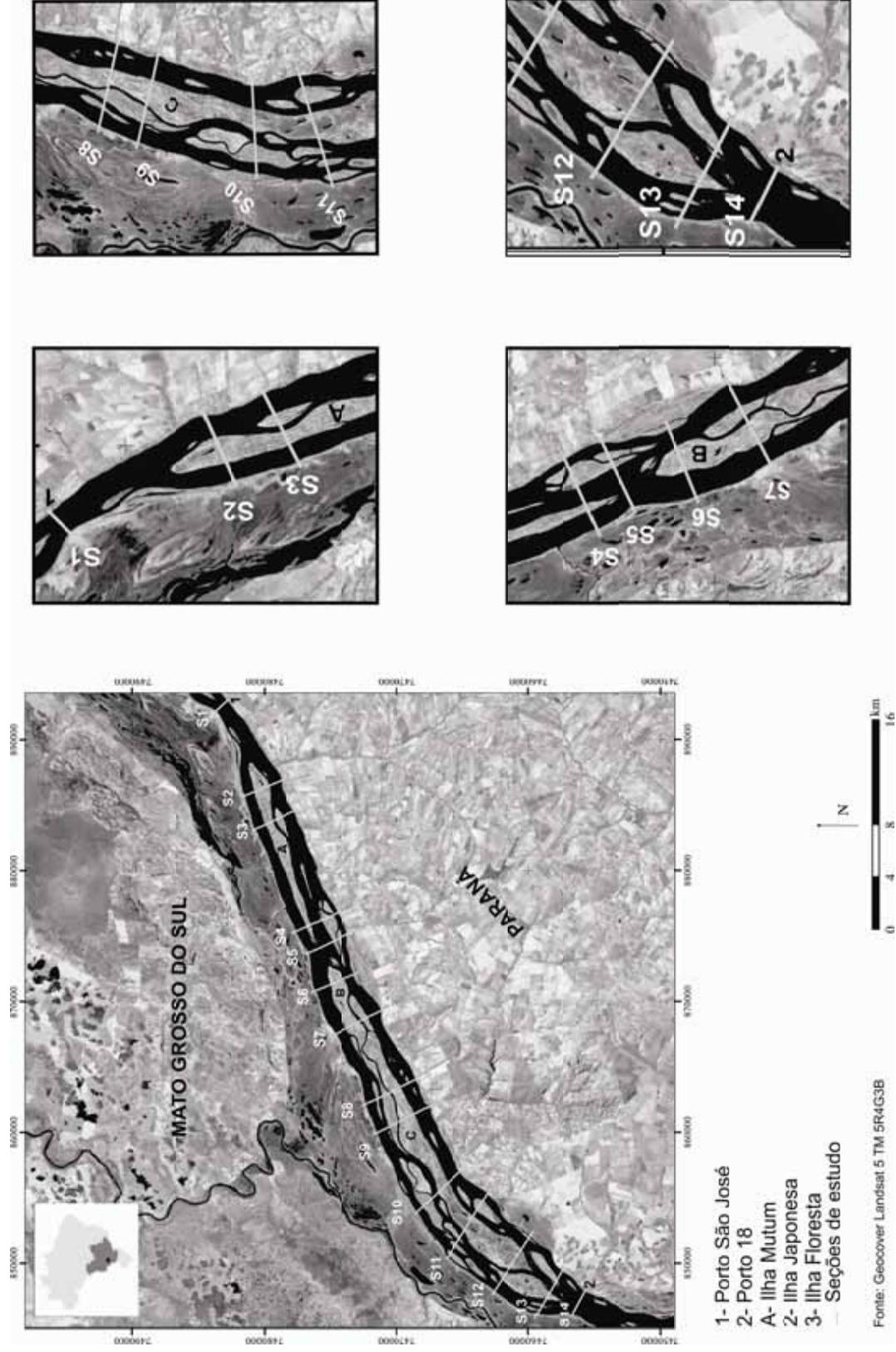


Figura- 10: Mapa de localização das seções de estudo

Com a utilização de um amostrador Petersen modificado, modelo Van Veen, foram obtidas amostras de carga de fundo no ponto médio de cada canal das seções. Em laboratório, as amostras foram submetidas a análise granulométrica por peneiramento (Suguio, 1973), uma vez que as amostras eram essencialmente arenosas. Os resultados foram tratados pelo programa Gradistat 8.0 (Blott e Pye, 2001). Este programa permite calcular os parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica a partir dos dados obtidos no processo de peneiramento.

Os dados dos parâmetros hidrológicos foram obtidos parte por medições instantâneas em campo (velocidade e direção de fluxo, profundidade, velocidade média da seção, vazão e geometria do canal), e parte cedidos pelo Instituto das Águas do Paraná (série histórica disponível entre os anos de 1963 a 2010 de vazão e cota da estação Porto São José), antiga SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental).

Os dados foram analisados por meio de equações que forneceram dados relevantes para a caracterização do trecho multicanal e distribuição de energia dentro deste sistema. Os parâmetros hidráulicos mais importantes utilizados nas equações hidráulicas além da vazão foram: velocidade do fluxo, declividade, tamanho da partícula da carga de fundo (D_{50} , D_{90}), Coeficiente de Manning, raio hidráulico e perímetro molhado.

Para a obtenção da vazão de margens plenas (bankfull) a equação utilizada foi a de intervalo de recorrência (Eq.1), devido à série histórica disponível (no anexo deste trabalho).

$$I_r = (n+1)/m \quad \text{Eq. 1}$$

onde,

I_r = intervalo de recorrência (anos),

n = número total de eventos considerados

m = número de ordem do evento, organizado em escala de ordem decrescente

O coeficiente de Manning estabelece o valor de rugosidade do leito. Assim, deformações, irregularidades, vegetação, tipo de material de fundo, etc., além da sinuosidade do canal podem influenciar na rugosidade “total” do canal. Essas variáveis têm peso diferente na obtenção do coeficiente total como se pode verificar na equação 2. Devido às condições dos canais estudados o valor utilizado nos cálculos foi o referente ao material de fundo arenoso, que consiste em 0,025 (Quadro 1). Esse coeficiente foi utilizado neste trabalho tanto para

contribuir para a determinação da declividade hidráulica, como para determinação da velocidade do deslocamento das cargas de fundo.

A adoção de formas mais resistentes de leito exige poderes superiores de fluxo do que os disponíveis. Isto implica que a rugosidade do canal também é um fator importante a ser considerado nos mecanismos de explicar a formação do canal (Huang e Nanson, 2007).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad \text{Eq. 2}$$

onde,

n = coeficiente de Manning

n_0 = material de fundo

n_1 = grau de irregularidade da seção

n_2 = variação da seção transversal

n_3 = obstrução

n_4 = presença de vegetação

m = sinuosidade

n_0 = material de fundo	Terra	0,020
	Areia grossa e cascalho fino	0,025
	Cascalho grosso	0,028
n_1 = grau de irregularidade da seção	Fraca	0,005
	Média	0,010
	Forte	0,020
n_2 = variação da seção transversal	Gradual	0,000
	Alternância ocasional	0,005
	Alternância freqüente	0,010-0,015
n_3 = obstrução	Desprezível	0,000
	Fraca	0,010-0,015
	Apreciável	0,020-0,030
	Forte	0,040-0,060
n_4 = presença de vegetação	Fraca	0,005-0,010
	Mediana	0,010-0,025
	Importante	0,025-0,050
	Muito importante	0,050-0,100
m = sinuosidade (comprimento do vale/comprimento talvegue)	Fraco	1,00
	Apreciável	1,15
	Forte	1,30

Quadro- 1: Parâmetros utilizados para o cálculo do coeficiente de Manning (Fonte: Bravard e Petit, 2000)

O cálculo da declividade hidráulica foi efetuado não somente para caracterização do trecho de estudo, como também foi útil na obtenção de outros dados, como a potência do canal e o transporte da carga sedimentar. Neste trabalho a declividade foi obtida pela equação 3 elaborada por Dietrich et al. (1999):

$$V = (d^{0.67} \cdot S^{0.15})/n \quad \text{Eq.3}$$

onde,

V= velocidade média da seção (m/s)

d= profundidade média (m)

S= declividade (m/m)

n= coeficiente de Manning

A potência do canal (Ω) é em última instância a energia que o sistema possui para realização do trabalho: carregar água e sedimento, erodir margens, etc. Este parâmetro tem influência significativa em várias formas e processos atribuídos ao sistema fluvial (Eq. 4, Bagnold, 1966). A potência do fluxo por unidade de largura (Eq. 5) ou potência de canal específica consiste no valor da potencia de canal dividida pela largura do canal, ou potência do canal específica, representa o trabalho despendido ou a energia gasta pelo canal devido ao regime de fluxo. Assim, rios com alta potência de canal (com o Amazonas, p. ex.) podem ter potência de canal específica pequena devido à sua largura.

$$\Omega = \gamma \cdot Q \cdot S \quad \text{Eq.4}$$

onde,

Ω = potência do canal (W/m^2)

γ = peso específico da água (kg/m^3) . gravidade (m/s^2)

Q= vazão (m^3/s)

S= declividade (m/m)

$$\omega = (\gamma \cdot Q \cdot S) / w \quad \text{Eq.5}$$

onde,

ω = potência do canal específica (W/m^2)

γ = peso específico da água (kg/m^3) . gravidade (m/s^2)

Q= vazão (m^3/s)

S= declividade (m/m)

w= largura da seção (m)

O perímetro molhado (Eq. 6) que consiste na soma dos segmentos da seção (paredes e fundo do canal) foi calculado para a obtenção do raio hidráulico (Eq. 7) que mede a eficiência do fluxo do canal fluvial. Quanto maior o perímetro de um canal, maior será a superfície de atrito entre a água e as paredes. Assim, a determinação está relacionada com a velocidade e eficiência do canal.

$$U = 2.d + w \quad \text{Eq.6}$$

onde,

U= perímetro molhado (m)

d= profundidade média do canal (m)

w= largura da seção (m)

$$R = d.w/U \quad \text{Eq.7}$$

onde,

R= raio hidráulico (m)

d= profundidade média do canal (m)

w= largura da seção (m)

U= perímetro molhado (m)

Para a determinação do transporte da carga sedimentar do leito no trecho de estudo, foi utilizado o método de Van Rijn (1984) devido ao rigor teórico e à qualidade apresentada em suas análises (Eq. 8). A equação de

Van Rijn já foi utilizada por Amasler et al. (2000) e por Martins (2008) para o cálculo da carga de fundo transportada no rio Paraná médio e neste trecho respectivamente. Os autores calibram a equação baseando-se em dados empíricos da velocidade de migração das formas de leito do rio.

$$\frac{qb}{[(s-1)g]^{1/2} d_{50}^{1,5}} = 0,053 \frac{T^{2,1}}{d_*^{0,3}} \quad \text{Eq.8}$$

Para aplicação da equação de Van Rijn são necessários os seguintes parâmetros T , (Eq. 9) que expressa a mobilidade das partículas em relação ao estado crítico de início de movimento conforme proposto por Shields:

$$T = [(u_*')^2 - (u_{*cr})^2] / [(u_{*cr})^2] \quad \text{Eq.9}$$

onde u_*' é a velocidade de atrito dos grãos relativa ao fundo e u_{*cr} é velocidade crítica necessária para a movimentação do grão de acordo com Shields. Para facilitar o cálculo de T , o autor propôs as seguintes relações para a curva de Shields (Fig.11):

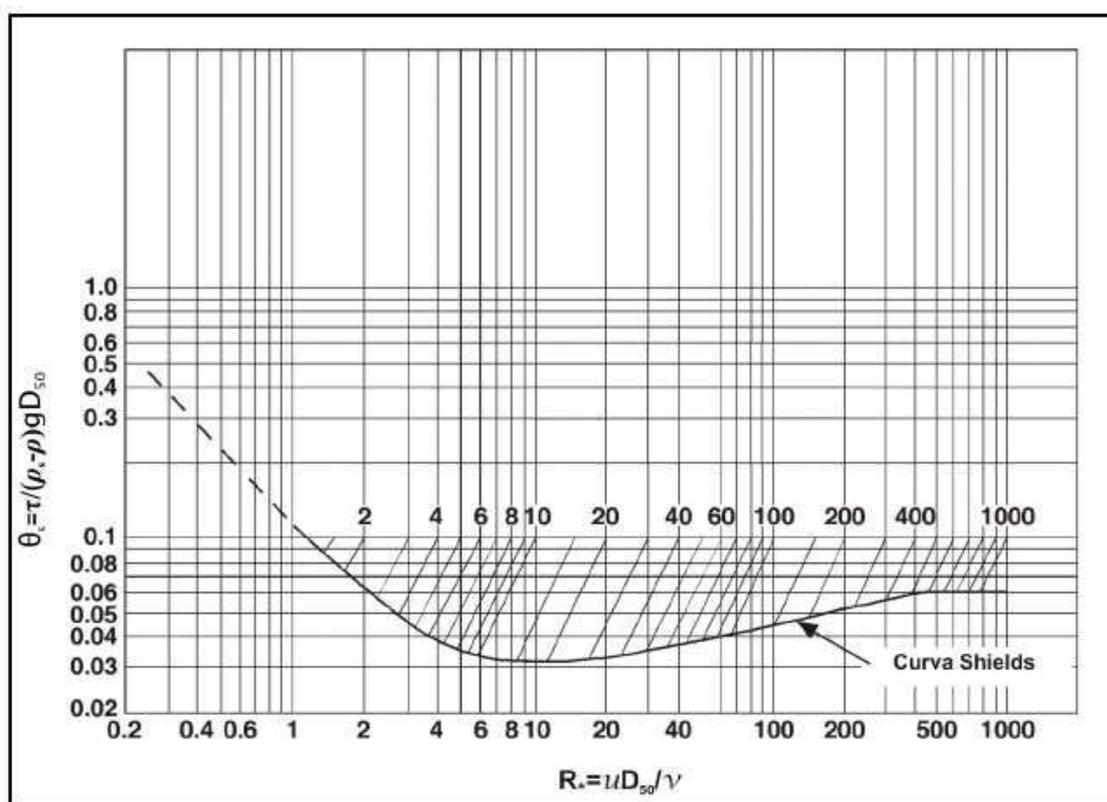


Figura- 11: Diagrama de Shields, 1936 (Fonte: Santos, 2010)

$d^* \leq 4$	$\theta_{cr} = 0.24(d^*)^{-1}$
$4 < d^* \leq 10$	$\theta_{cr} = 0.14(d^*)^{-0.64}$
$10 < d^* \leq 20$	$\theta_{cr} = 0.04(d^*)^{-0.10}$
$20 < d^* \leq 150$	$\theta_{cr} = 0.013(d^*)^{-0.29}$
$d^* > 150$	$\theta_{cr} = 0.055$

onde,

$$d^* = d_{50} \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad \text{Eq.10}$$

$$\theta_{cr} = \frac{(u^*_{cr})^2}{(s-1)gd_{50}} \quad \text{Eq.11}$$

onde d^* é um diâmetro característico adimensional do sedimento, d_{50} o diâmetro para o qual 50% dos sedimentos são inferiores (retirado da curva utilizada para a realização das curvas granulométricas dos materiais), s é o peso específico do sedimento, g a aceleração da gravidade, ν a viscosidade cinemática da água, θ_{cr} o parâmetro de mobilidade crítico e u^*_{cr} a velocidade de atrito crítica de acordo com o Diagrama de Shields.

Os cálculos de u^* e u^*_{cr} são feitos a partir das expressões:

$$u^* = \frac{\sqrt{g\bar{u}}}{C'} \quad \text{Eq.12}$$

$$u^*_{cr} = \sqrt{gRh_i} \quad \text{Eq.13}$$

onde g é a aceleração da gravidade, u é a velocidade média na seção, R_h , o raio hidráulico, i é a declividade do leito e C' que também é um parâmetro utilizado para chegar à equação de Van Rijn:

$$C' = 18 \log \left(\frac{12 R_h}{3 d_{90}} \right) \quad \text{Eq.14}$$

6-Resultados e Discussão

6.1- Morfologia planar e transversal do trecho multicanal:

O trecho de estudo apresenta em sua margem direita (MS) uma considerável planície de inundação, enquanto que na margem esquerda (PR) há planície em apenas alguns trechos. A sinuosidade do trecho de estudo é fraca ($<1,2$) para o canal principal, podendo em alguns canais menores entre as ilhas atingir valores mais expressivos (1,5 a 1,7). A declividade média da área fica em torno de 0,00006 m/km, com variações entre 0,0003 e 0,00013 m/km. De acordo com Latrubesse (2008), rios com a $Q_{méd}$ de aproximadamente 17000 m³/s, a declividade é geralmente inferior a 0,00007 m/km e até inferior a 0,00003 m/km com valores próximos de 0, e nesta condição os rios não geram meandros. O quadro 2 mostra dados que caracterizam morfologicamente cada seção de estudo.

Seção	S declividade (m/km)	W largura (m)	d profundidade média (m)
1	0,00005	1250,23	5,37
2A	0,00004	946,55	3,87
2B	0,00013	774,02	3,87
3A	0,00004	991,22	3,87
3B	0,00005	253,01	3,87
3C1	0,00006	770,32	3,87
4A	0,00007	379,25	4,87
4B	0,00006	869,43	5,87
4C	0,00007	842,64	3,87
5A	0,00005	413,27	4,62
5B	0,00007	100,52	3,62
5C	0,00006	2166,31	5,37
6A	0,00003	726,64	8,12
6B	0,00009	1072,52	4,37
7A	0,00005	899,35	7,12
7B	0,00011	164,1	2,37
7C	0,00008	979,24	4,62
8A	0,00008	1249,39	4,37
8B	0,00006	162,79	2,87
8C	0,00008	283,66	4,62
8D	0,00004	774,99	6,12
9A	0,00005	1182,53	6,37
9B	0,00006	116,34	3,87
9C	0,00007	1060,74	5,87
10A	0,00006	1174,18	5,37
10B	0,00007	515,02	4,87
10C	0,00006	579,8	5,87

11A	0,00005	610,31	4,87
11B	0,00003	438,4	7,62
11C	0,00010	479,18	5,37
11D	0,00008	319,4	5,12
11E	0,00011	383,57	3,87
11F	0,00003	109,9	5,79
12A	0,00004	104,66	3,37
12B	0,00005	918,85	5,87
12C	0,00009	344,1	4,12
12D	0,00011	1012,22	4,37
13A	0,00009	902,58	7,12
13B	0,00003	72,88	5,87
13C	0,00003	656,86	6,37
13D	0,00006	481,42	4,87
13E	0,00009	269,4	3,37
13F	0,00005	202,6	5,87
14	0,00009	1954,99	5,37

Quadro-2: Dados morfológicos referentes às seções de estudo

O padrão do rio e a geometria hidráulica estão fortemente relacionados. Ambos facilitam a dissipação ou conservação de energia em alguma maneira ideal que conduz à estabilidade relativa dos canais (Huang e Nanson 2007). Diante da proposta de entender a divisão do trecho de estudo em múltiplos a canais, foram feitas correlações entre as variáveis obtidas neste trabalho. No que se refere ao número de canais secundários que o fluxo pode se dividir, foram encontrados dentro do trecho estudado até 6 canais.

A redução da declividade promove igualmente a redução na energia do canal (ver equações 4 e 5). Para manter a eficiência, o canal torna-se múltiplo de modo reduzir a largura (ver equação 5) e igualmente aumenta sua declividade. Isso pode ser confirmado quando se relaciona o número de canais do trecho multicanal e a declividade (Figura 112). É bem alta a correlação entre estas duas variáveis ($R^2= 0,8485$) para uma linha de tendência polinomial. Devido à natureza da carga de fundo (areia) o ajuste da declividade é mais facilmente obtido pela mobilização do material de fundo, diferentemente de rios sobre rocha ou sobre fundo argiloso. Talvez seja essa a razão de um ajuste tão marcante entre a declividade e o grau multicanal do trecho.

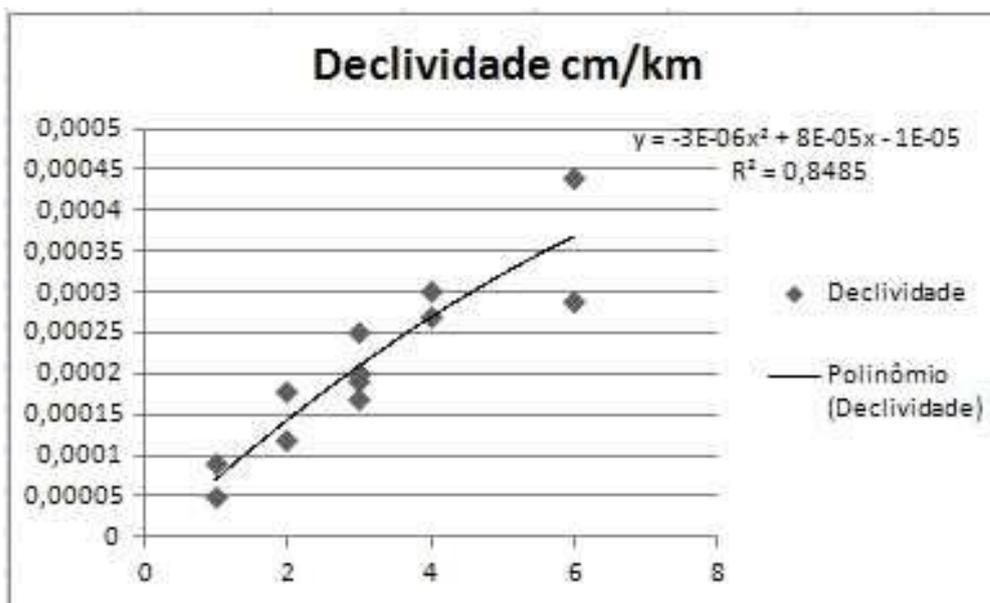


Figura- 12: Correlação entre o número de canais e a declividade.

Huang e Nanson (2007) afirmam que se em um rio sem ajuste de declividade forem adicionados canais pode haver uma redução proporcional na eficiência do fluxo o que acaba acontecendo para os rios trançados. No entanto, a eficiência multicanal pode ser significativamente aumentada pela redução da largura do canal como ocorre quando ilhas aluviais vegetadas ou barras se formam entre canais (Figura 13). Embora apresentando uma correlação relativamente baixa, essa situação está bem clara no trecho estudado onde se observa que a relação w/d se reduz com o aumento do número de canais (Figura 14). Essa relação foi também observada por Jansen e Nanson (2004).

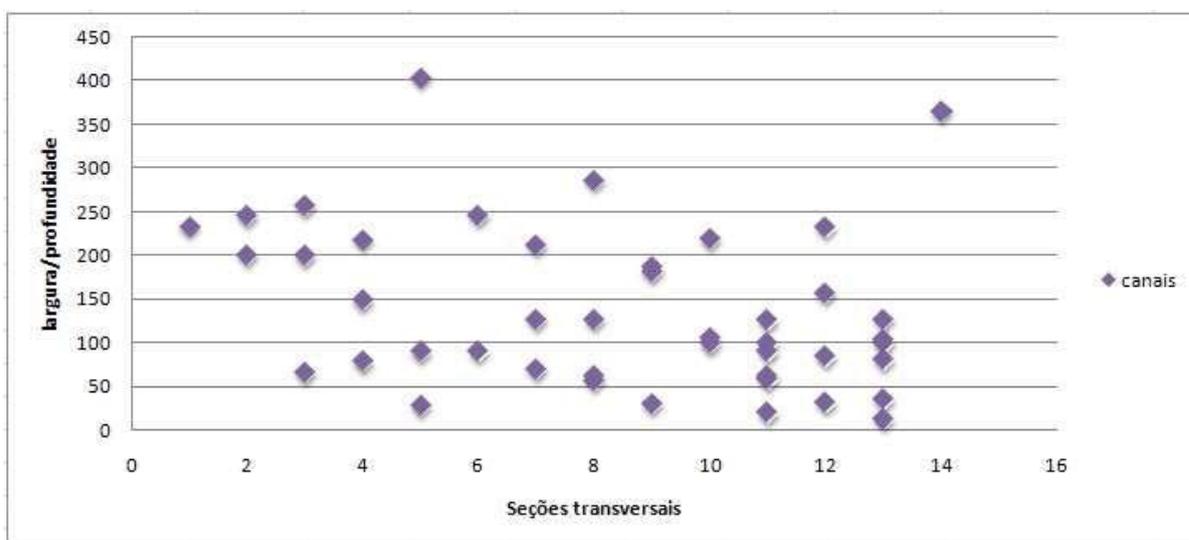


Figura- 13: Relação largura/profundidade entre os canais das seções de estudo.

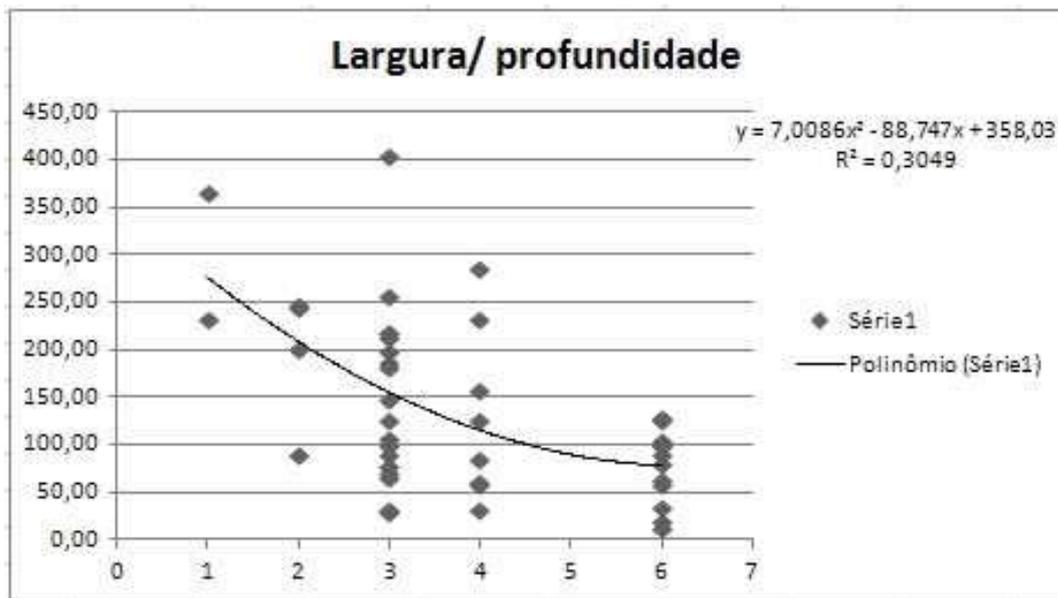


Figura- 14: Correlação entre o número de canais e a relação largura/profundidade.

Diante da análise das relações longitudinais da área de estudo (Fig.15), é possível identificar que mesmo diante da formação de múltiplos canais, há em cada seção um canal principal que possui maior largura e maior vazão, e é observado também que quanto maior a quantidade de canais secundários, menor é a largura do dito canal principal, o que promove a redução na correlação apresentada na figura 13. Esse fato está provavelmente ligado à imposição estruturas e litológica do trecho. Stevaux (1994) e Fortes et al. (2005) entre outros autores já mencionam o forte controle estrutural sobre o desenvolvimento da planície aluvial do rio Paraná. O basculamento com caimento para leste do bloco onde esta instalada a planície aluvial do rio Paraná faz com que ocorra uma migração do talvegue para a margem paranaense provocando uma assimetria na morfologia do canal e o desenvolvimento de um canal principal bem mais expressivo que os canais secundários do trecho multicanal.

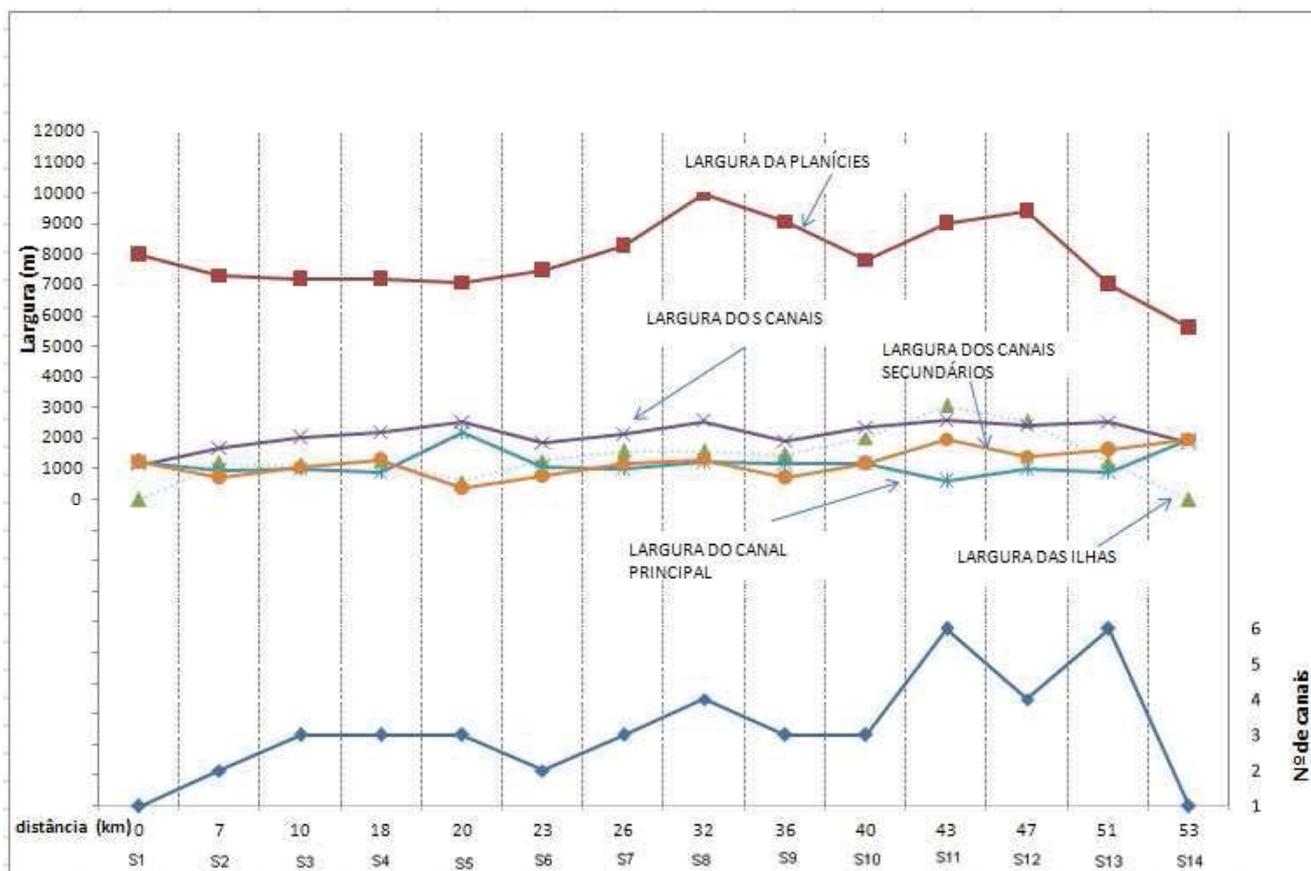


Figura- 15: Relações longitudinais ao longo dos 53 km do trecho de estudo.

6.2- Hidráulica do trecho

Os dados apresentados no quadro 3 caracterizam as seções de estudo quanto à hidráulica do trecho, parte obtida em campo com o ADCP (Qcampo e V velocidade média do fluxo) e parte calculada pelas Equações 5 (Potência de canal específica) e 7 (Raio Hidráulico).

Seção	Qcampo (m³/s)	Potência de canal específica (W/m²)	Velocidade média do fluxo (m/s)	Raio Hidráulico
1	10386,22	4,34	0,9	5,347033371
2A	8083,592	3,89	0,675	3,854241809
2B	2240,666	3,82	1,149	3,850746764
3A	7241,422	3,33	0,675	3,854949201
3B	577,746	1,31	0,756	3,811696901
3C1	2136,977	1,79	0,804	3,850654749
4A	1809,758	3,28	0,967	4,808256534
4B	5319,121	4,00	1,069	5,830634183
4C	2105,009	1,78	0,845	3,852307474
5A	1553,196	2,13	0,848	4,568923401
5B	214,936	1,65	0,84	3,494165546
5C	7368,554	2,03	0,962	5,356721386
6A	4925,757	2,11	0,916	8,030264032

6B	4557,505	3,79	1,024	4,35226662
7A	4650,825	2,69	1,085	7,064074928
7B	211,964	1,44	0,761	2,336258785
7C	4712,889	4,10	1,039	4,59830545
8A	4825,736	3,04	0,963	4,354768297
8B	245,283	1,01	0,669	2,820278281
8C	816,619	2,28	1,001	4,545959484
8D	3620,279	2,16	0,925	6,072049775
9A	4900,951	2,23	1,025	6,335870216
9B	206,53	1,17	0,811	3,745410532
9C	4633,607	3,38	1,163	5,83769494
10A	4638,199	2,38	0,966	5,345552626
10B	2171,78	3,26	1,026	4,824380927
10C	2487,442	2,63	1,036	5,811166698
11A	1737,942	1,53	0,856	4,831447219
11B	3376,399	2,94	0,973	7,4898166
11C	1920,809	4,18	1,271	5,310487256
11D	1344,866	3,70	1,13	5,039221003
11E	1060,239	3,10	1,059	3,83134395
11F	509,588	1,70	0,793	5,500224739
12A	209,963	0,81	0,58	3,264872721
12B	4737,63	2,78	0,97	5,832738018
12C	920,493	2,61	1,031	4,071253805
12D	3594,93	3,85	1,13	4,351214747
13A	4621,313	0,48	0,46	7,064273497
13B	350,337	1,70	0,787	5,432452063
13C	936,326	0,45	0,787	6,308819263
13D	1718,854	2,44	0,964	4,821228896
13E	591,504	1,96	0,862	3,328364556
13F	1453,115	3,90	0,975	5,704715307
14	9640,955	4,38	1,174	5,355289998

Quadro- 3: Parâmetros hidráulicos referentes às seções de estudos.

O uso da vazão nas equações hidráulicas é bastante discutido na literatura. A maioria dos autores estabelece a vazão de margens plenas (Q_b) como a vazão formadora ou morfológica (Q_f - vazão que constrói o canal) dos canais e calibram as equações para esse valor. A vazão de margens plenas consiste na fase em que o canal do rio é preenchido completamente pelo fluxo da água. De acordo com Christotfoletti (1981), o estado de margens plenas se faz importante porque a forma e o padrão dos canais fluviais estão ajustados à vazão e aos sedimentos fornecidos pela drenagem, eventos de magnitude moderada e de ocorrência relativamente frequente controlam a forma do canal, sendo assim o débito de margens plenas tem maior poder formativo do canal, pois esta vazão tem competência para movimentar grande quantidade de sedimentos. Knigthon (1998), no entanto, explica que podem ter outros tipos de vazão como sendo a Q_f . O autor propõe que tanto a vazão dominante (Q_d – que mais transporta água) como a vazão efetiva (Q_e – vazão que mais transporta sedimento) possam ser, também, consideradas como Q_f .

No rio Paraná são usadas três tipos de Q_b pelos pesquisadores a depender dos objetivos dos trabalhos:

1) Q_b das barras: é aquela que cobre as barras fluviais. Rocha (2002) expressa esse valor assumindo como cota base 460 cm na régua fluviométrica da estação Porto São José, efetuados os cálculos a Q_b é de 13080 m^3/s , com intervalo de recorrência de 1,2 anos. Esta vazão foi utilizada pelo autor no cálculo de carga transportada.

2) Q_b de inundação da planície: é mais ecológica que geomorfológica, pois a água entra pelos canais e crevasses. Para tal é utilizada a cota base de 580 cm de acordo com Corradini (2006) o que corresponderia a uma vazão de 16310 m^3/s , com intervalo de recorrência de 1,58 anos.

3) Q_b que recobre os diques marginais e ilhas, a qual foi calculada neste trabalho. Para o cálculo foi utilizada como cota base 620 cm da ilha Mutum aferida por Corradini (2006), esta ilha possui a cota mais alta do trecho, o que nos fornece a Q_b de 17780 m^3/s com um intervalo de recorrência de 1,68 anos.

O cálculo da Q_b para determinação do tempo de recorrência das diferentes vazões apresentadas acima foi baseado na série histórica da estação de Porto São José, (Fig. 16).

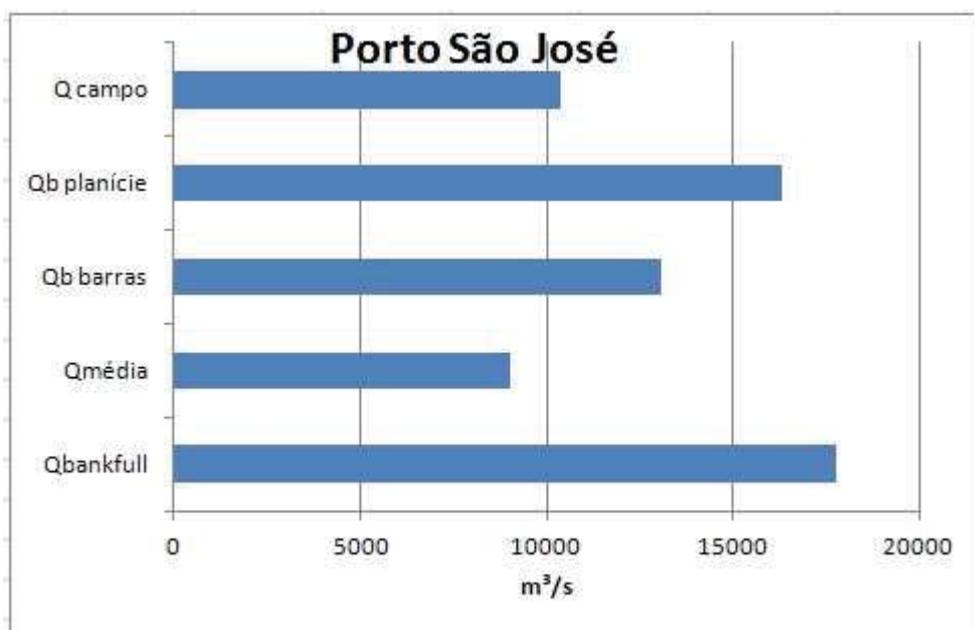


Figura- 16: Demonstrativo das diversas Q_b da estação de Porto São José, alto rio Paraná.

Quando analisamos a somatória da vazão em cada seção de estudo, somando as vazões de todos os canais podemos verificar através do quadro 4 que há perdas e ganhos no trecho de estudo, com uma diferença de aproximadamente 8% de água no ponto inicial e no ponto final de medição.

Essa diferença pode ser atribuída a vários fatores, que podem ser, por exemplo, retenção de água nas planícies e áreas de banhados. No entanto levando em consideração que o trabalho de campo não foi realizado em um único dia, é natural que haja mesmo uma diferença de vazão. De acordo com a medição da ANA para a Estação Porto São José no dia 01/02/2011 a vazão corresponde a 9775 m³/s sendo que de acordo com a aferição feita em campo no mesmo dia para este trabalho, a vazão corresponde a 10386,22 m³/s. Essa diferença provavelmente ocorre, pelos dados não terem sido obtidos em um mesmo horário. A vazão tem variação no decorrer do dia. No dia 03/02/2011, dia em que foi aferida a vazão de 9640,955 m³/s na seção 14, para a Estação de Porto São José, de acordo com a ANA a vazão era de 9387,50 m³/s. O próprio processo de obtenção da vazão pelo ADCP impõe um erro, uma vez que o barco, em muitas vezes não consegue atingir a margem por presença de vegetação, blocos etc. Para tanto o equipamento executa uma interação média da velocidade. Contudo, como observado esse erro não é superior a 8%.

Seções/número de canal	Soma da Q (m ³ /s)	Seções/número de canal	Soma da Q (m ³ /s)
1/1	10386,22	8/4	9507,917
2/2	10324,258	9/3	9741,088
3/3	9956,145	10/3	9297,421
4/3	9233,888	11/6	9949,843
5/3	9136,686	12/4	9463,016
6/2	9483,262	13/6	9671,449
7/3	9575,678	14/1	9640,955

Quadro- 4: Somatória das vazões por seção de estudo

Durante os dias em que foi realizado o trabalho de campo, houve instabilidade do tempo, com pancadas de chuva ao final das tardes, condição típica de verão na área. A chuva, no entanto não interferiu de maneira significativa nas medições de vazão de acordo com o acompanhamento do nível da água na régua fluviométrica (Quadro 5).

Data	Nível da água
01/02/2011	3,70m
02/02/2011	3,48m
04/02/2011	3,47m

Quadro 5- Aferição em campo do nível da água através de observação da régua fluviométrica da ANA na estação de Porto São José.

A figura 17 mostra a distribuição da vazão no trecho estudado. Pode-se observar que entre os dois arquipélagos principais – Mutum e Japonesa-Floresta a distribuição da vazão dá-se de maneira diferenciada. No arquipélago montante observa-se a forte influência da assimetria do canal (Fig. 17), com o predomínio da vazão no canal principal do lado paranaense (8000 a 9000 m³/s) em detrimento de uma vazão mais reduzida (2000 a 3000 m³/s) no canal sul-mato-grossense. Ou seja, o canal principal drena 75% do trecho.

Essa situação já não é observada no arquipélago Japonesa-Floresta. Neste caso ocorre uma divisão equivalente da vazão (4000 e 5000 m³/s), o que ressalta a inexistência de um canal principal predominante na seção (Fig. 17). Isso fica bastante claro nas seções 5 a 14 que correspondem a esse trecho. Na figura 18 encontram-se algumas seções selecionadas desse trecho onde fica evidente a ausência de um canal principal e uma homogeneização dos canais. Neste caso é possível que o trecho não esteja afetado pelo basculamento que atingiu a área, ou os processos fluviais de transporte e sedimentação tenham anulado o efeito morfológico tectônico.

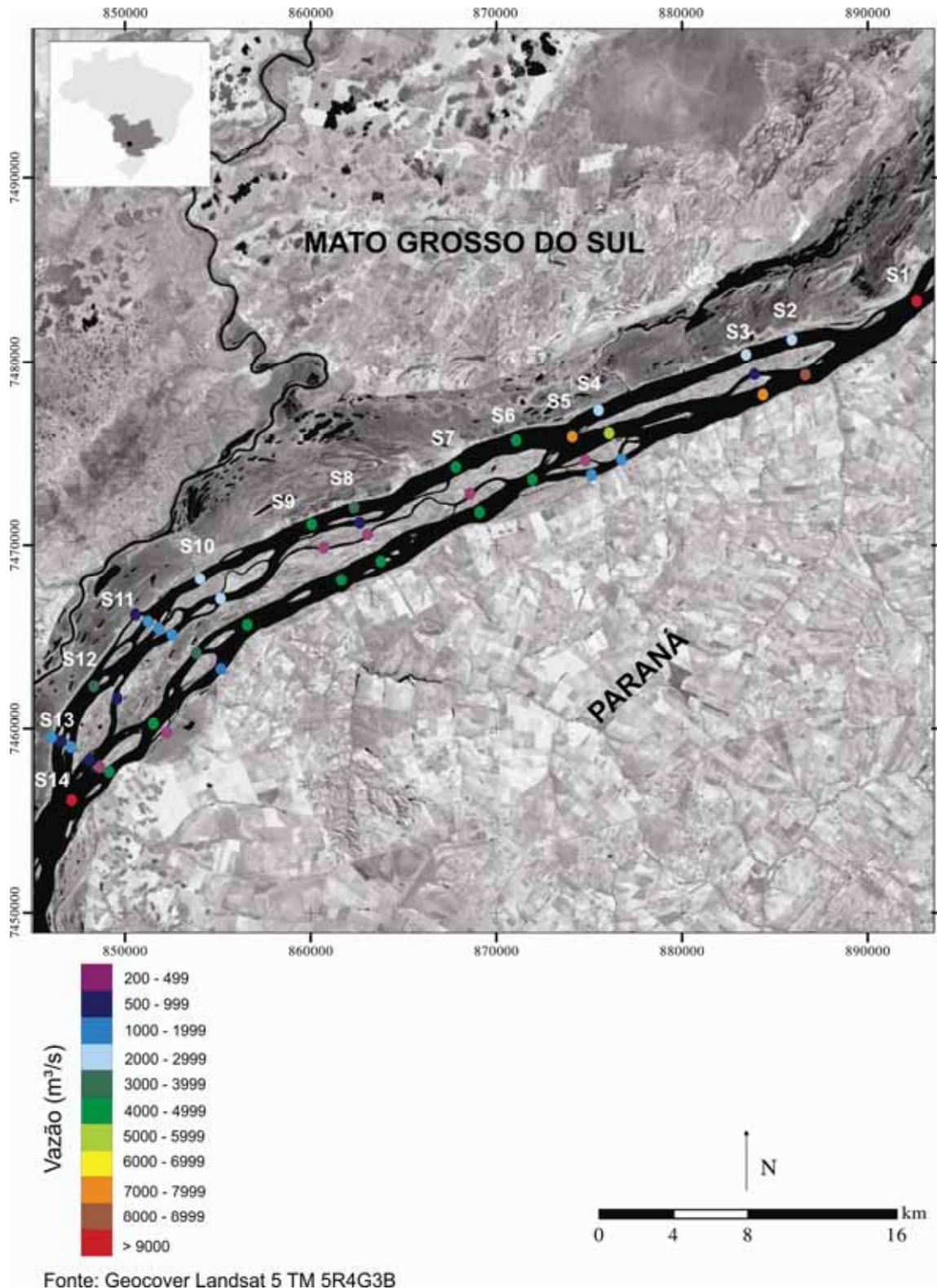


Figura- 17: Mapa de distribuição espacial da vazão no trecho de estudo.

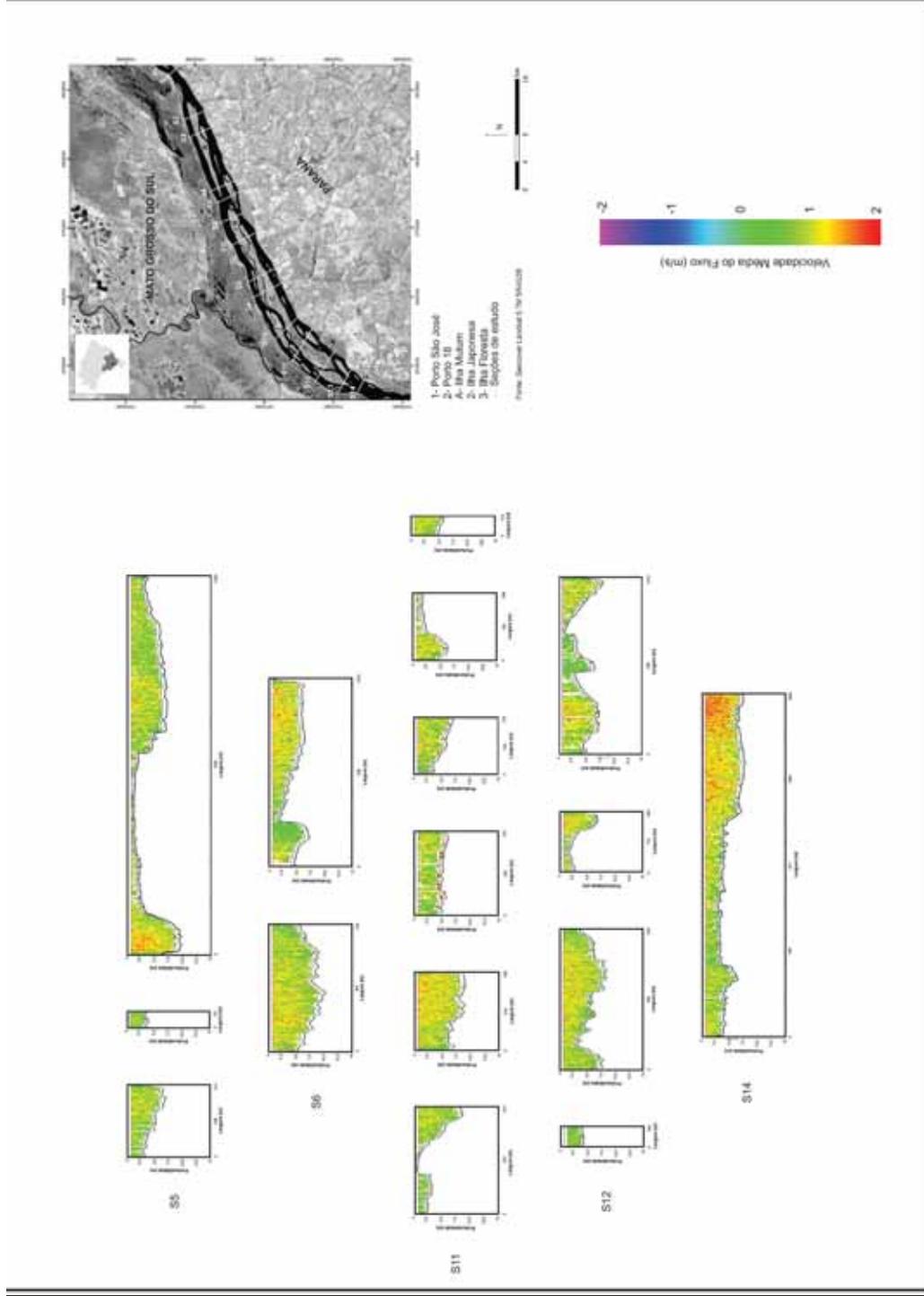


Figura- 18: Perfis de velocidade de seções de estudo com diferentes números de canais.

Não foi observada correlação entre o número de canais e a velocidade média (ponderada pela largura do canal) (Fig. 19).

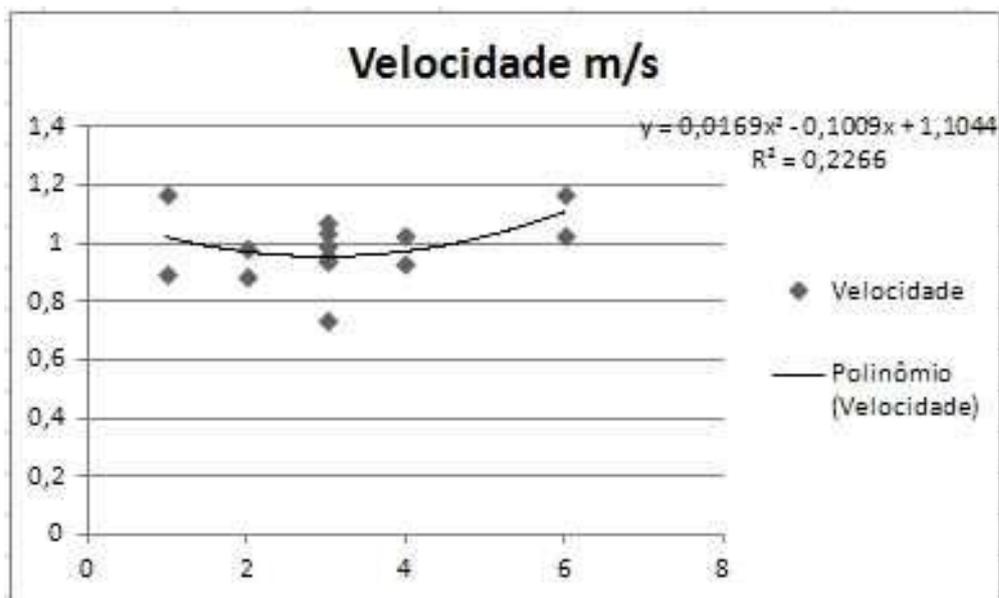


Figura- 19: Correlação entre o número de canais e a velocidade do fluxo.

A velocidade do fluxo varia de 0,4 m/s a 1,20 m/s (Fig.20). Para a análise da velocidade de fluxo há também perfis elaborados a partir da coleta de dados do ADCP (Fig. 18) que mostra não somente a diferença entre as velocidades nas seções de estudo com quantidades diversas de canais, como a morfologia destes canais. Geralmente as maiores velocidades estão localizadas próximas à superfície e diminuem quando se aproximam do fundo e das margens. Em canais simétricos, as maiores velocidades estão abaixo da superfície e centralizadas no canal, ao passo que, em direção às margens e ao fundo as velocidades diminuem. Já em canais assimétricos, as velocidades deslocam-se do centro do canal e migram para áreas de maiores profundidades (Morisawa, 1968).

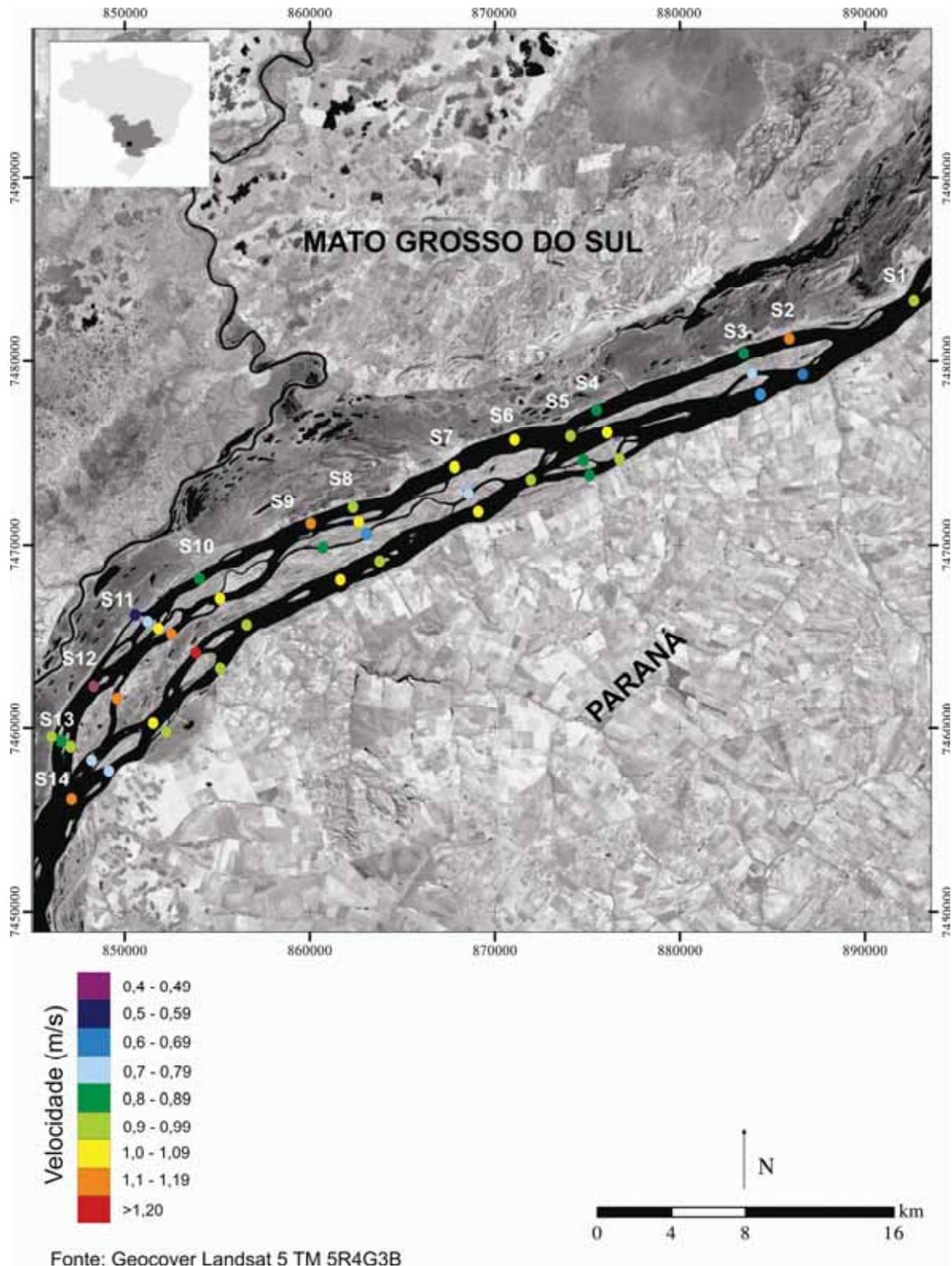


Figura- 20: Mapa de distribuição espacial da velocidade do fluxo no trecho de estudo.

Os canais múltiplos apresentaram potência de canal específica variando de $0,45 \text{ W/m}^2$ na seção 13C a $4,38 \text{ W/m}^2$ na seção 14 (Fig. 22, quadro 6). No entanto é bastante claro o aumento da potência de canal específica nas seções múltiplas. Esta relação foi obtida correlacionando a soma da potencia de canal específica de cada seção com o número de seções (Fig. 21). Nesse gráfico observa-se que nas seções onde o rio se divide em múltiplos canais os valores são maiores do que onde há o canal único o de menor número.

A seção que acumula o maior valor de potência de canal é a seção 11 que chega a $17,14 \text{ W/m}^2$, na qual o rio se ramifica em seis canais. Na seção 13, onde o rio também se ramifica em seis canais a potência de canal chega a $10,94 \text{ W/m}^2$, valor menor do que na seção 11 que contém o mesmo número de canais.

Seções/número de canal	Potência de canal específica (W/m^2) (total)	Seções/número de canal	Potência de canal específica (W/m^2)(total)
1/1	4,34	8/4	8,49
2/2	7,71	9/3	6,78
3/3	6,43	10/3	8,27
4/3	9,06	11/6	17,14
5/3	5,81	12/4	10,06
6/2	5,89	13/6	10,94
7/3	8,23	14/1	4,38

Quadro- 6: Somatória das potências de canal específicas por seção de estudo.

A correlação, contudo, entre a potência de canal específica da seção e o número de canais é de $R^2 = 0,7684$, resultado considerado satisfatório para o tipo de estudo.

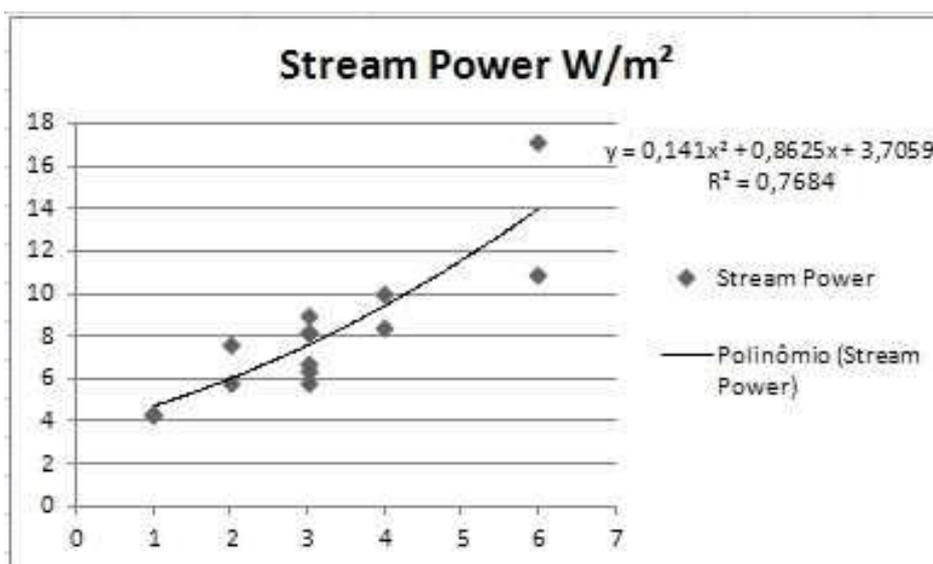


Figura- 21: Correlação entre o número de canais e a potência de canal específica.

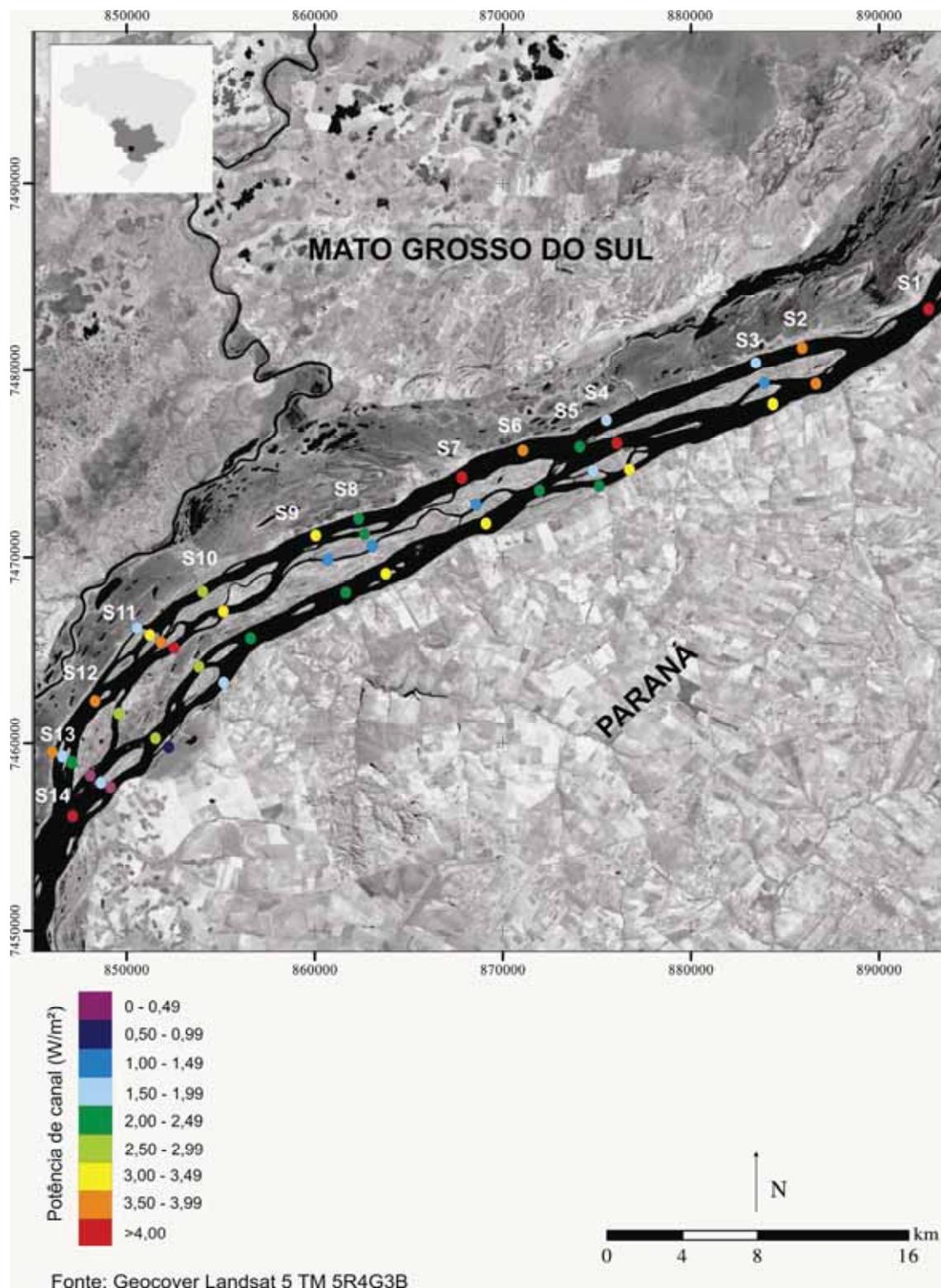


Figura- 22: Mapa de distribuição espacial da potência de canal específica.

6.3- Material sedimentar do leito

A distribuição da carga de fundo está fortemente ligada à dinâmica geral do rio. Portanto o conhecimento das características e da dinâmica da carga de fundo podem ser utilizadas para compreender a hidrologia e a geomorfologia de um rio (Martins, 2004). O quadro 7 apresenta dados de deslocamento do material de fundo calculado pelo método de Van Rijn em cada canal das 14 seções estudadas.

Seção	qb.10 ⁻⁴ - m ³ /s	Seção	qb.10 ⁻⁴ - m ³ /s	Seção	qb.10 ⁻⁴ - m ³ /s	Seção	qb.10 ⁻⁴ - m ³ /s
1	2,22	6A	1,81	10A	0,69	12D	2,06
2A	0,48	6B	1,70	10B	4,32	13A	0,14
2B	8,32	7A	4,08	10C	32,40	13B	11,78
3A	1,18	7B	0,03	11A	0,85	13C	0,65
3B	0,68	7C	1,97	11B	1,09	13D	2,98
3C	7,87	8A	1,27	11C	5,53	13E	0,12
4A	6,82	8B	0,03	11D	7,18	13F	10,14
4B	2,96	8C	9,45	11E	4,03	14	4,26
4C	0,74	8D	1,14	11F	0,48		
5A	0,80	9A	2,12	12A	0,08		
5B	0,25	9B	0,22	12B	1,21		
5C	1,70	9C	16,20	12C	1,50		

Quadro- 7: Resultados do deslocamento do material de leito do rio pelo método de Van Rijn. Valores anômalos em negrito (ver explicação no texto)

Os resultados do deslocamento do material do leito pelo método de Van Rijn quando somados por seção de estudo os valores referentes a cada canal mostra que na maioria das vezes, quando há divisão do fluxo em múltiplos canais há um maior deslocamento do que num trecho em que haja apenas um canal único, no entanto como citado anteriormente, na maioria das vezes, mas não em todo o trecho de estudo. Nas seções 5 (onde o rio se divide em 3 canais) e 6 (onde o rio se divide em 2 canais), os valores de deslocamento permanecem menores que na seção 14 onde encontramos canal único (Quadro 8).

Seções/número de canal	Soma de qb.10 ⁻⁴ (m ³ /s)	Seções/número de canal	Soma de qb.10 ⁻⁴ (m ³ /s)
1/1	2,22	8/4	11,89
2/2	8,79	9/3	18,53
3/3	9,73	10/3	37,40
4/3	10,52	11/6	18,69
5/3	2,74	12/4	4,85
6/2	3,51	13/6	25,79
7/3	6,07	14/1	4,26

Quadro- 8: Somatória do deslocamento de material de fundo em cada seção de estudo.

Assim como foi feito com outros parâmetros, o deslocamento do material de fundo foi correlacionado com o número de canais do trecho de estudo. Para tal correlação, exposta na figura 23 não houve um bom resultado com $R^2 = 0,2595$. A correlação, entretanto sobe para aproximadamente 0,70 se retirarmos pontos considerados anômalos (valores altos demais para a realidade do material de fundo da seção) conforme apresentados no quadro 7. Nesses locais (Fig. 24 e 25) a carga de fundo era composta de textura de areia muito grossa a grânulos, o que é de certa forma incompatível com a dinâmica atual (velocidade da corrente). A explicação para esse fato está ligada ao processo de pavimentação (*armouring*) que certos locais do canal vêm sofrendo devido às mudanças no regime de descarga imposto pelo funcionamento da usina hidrelétrica de Porto Primavera. Esse fato já foi verificado e mensurado por Stevaux et al. (2009) em alguns trechos do rio Paraná. Os sedimentos grossos que compõem a carga de fundo são na verdade depósitos de deixa (*lag deposits*) sedimentados antes do fechamento de usina. Na situação atual, as cheias extremas foram drasticamente reduzidas pela regulação da barragem (Stevaux et al. 2009) e o material fino é removido pelo fluxo regular do canal, fazendo com que aflore na superfície do fundo do canal os termos mais grossos.

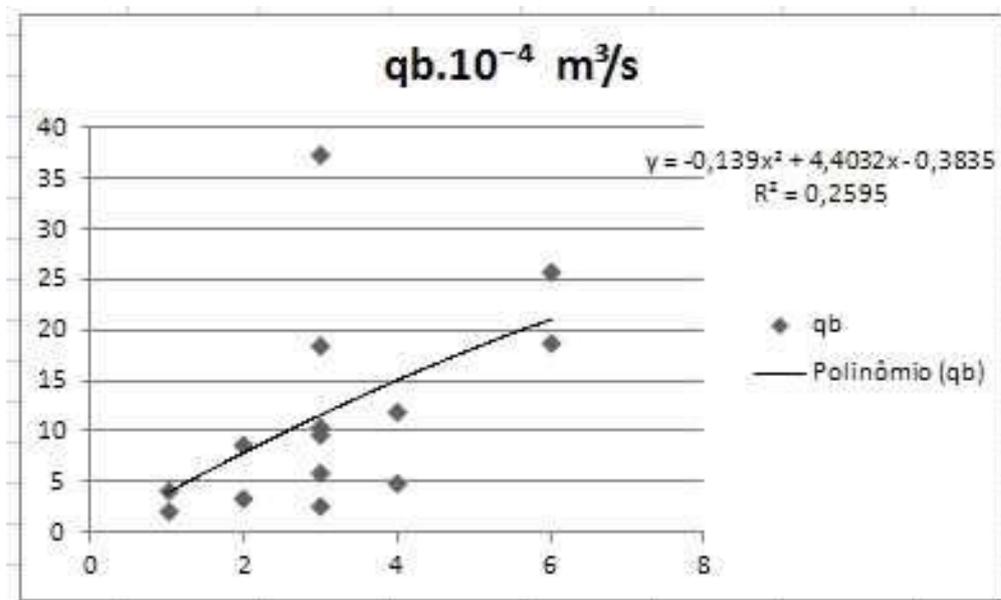


Figura-23: Correlação entre o número de canais e o deslocamento do material de fundo.

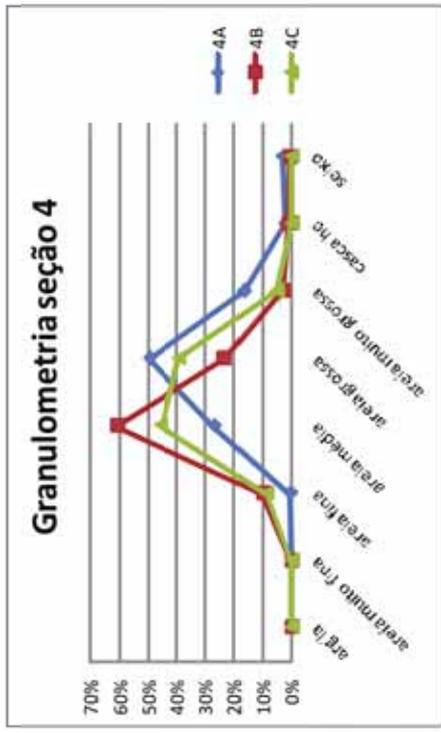
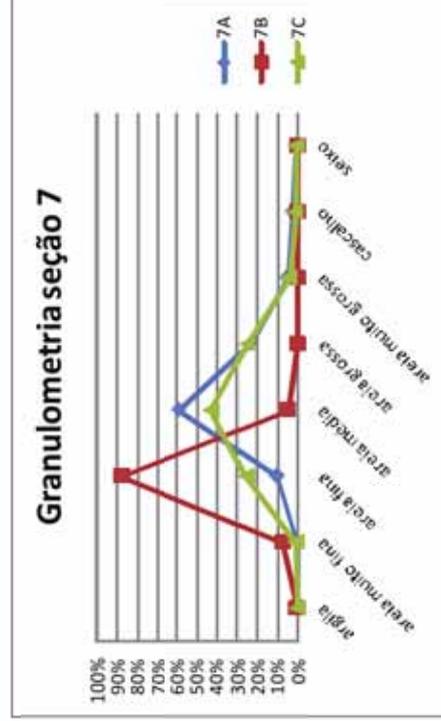
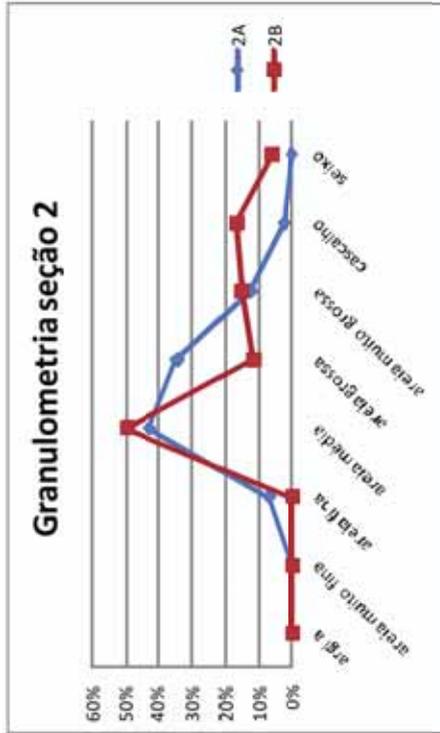
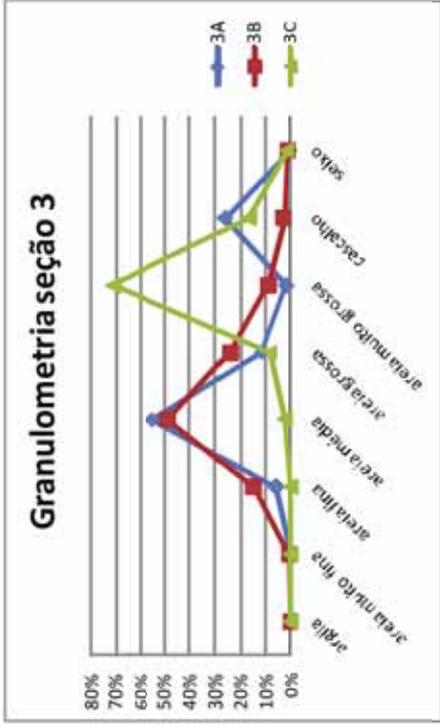


Figura 24- Granulometrias das seções que possuem canais que caracterizam depósitos de deixa ao longo do trecho de estudo

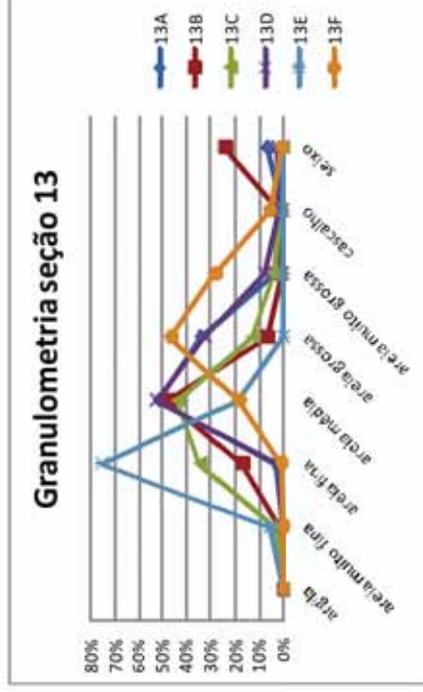
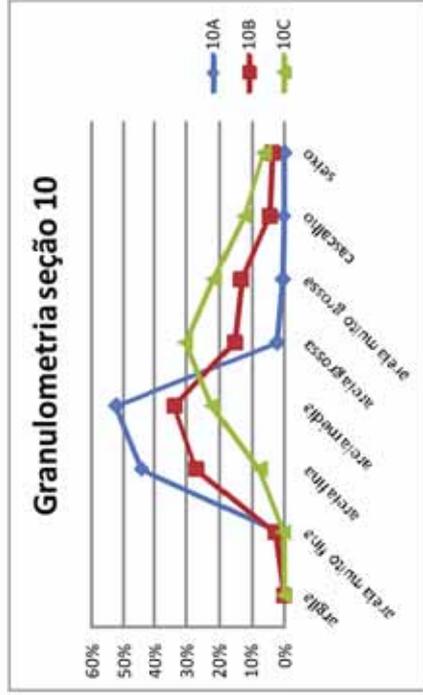
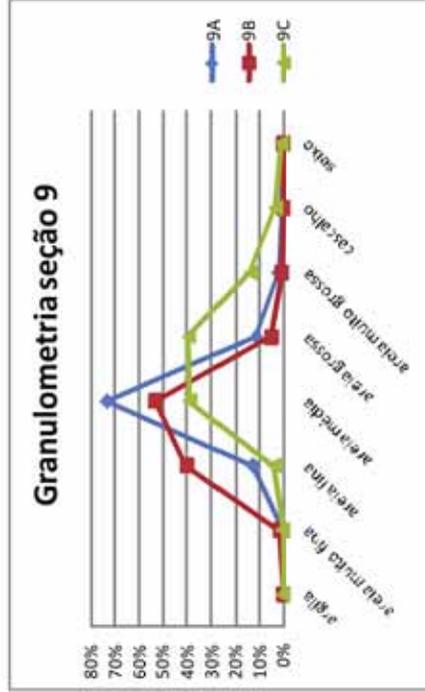
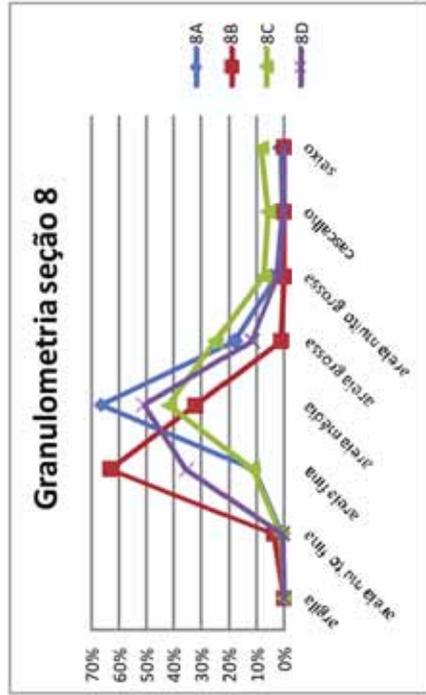


Figura 25- Granulometrias das seções que possuem canais que caracterizam depósitos de deixa ao longo do trecho de estudo

A figura 26 foi elaborada na tentativa de dar uma visão geral do comportamento das variáveis envolvidas no transporte da carga de fundo ao longo do trecho. Foram abstraídos os pontos anômalos 9C (16,20m³/s) e 10C (32,40 m³/s), que forneciam uma discrepância maior entre os canais.

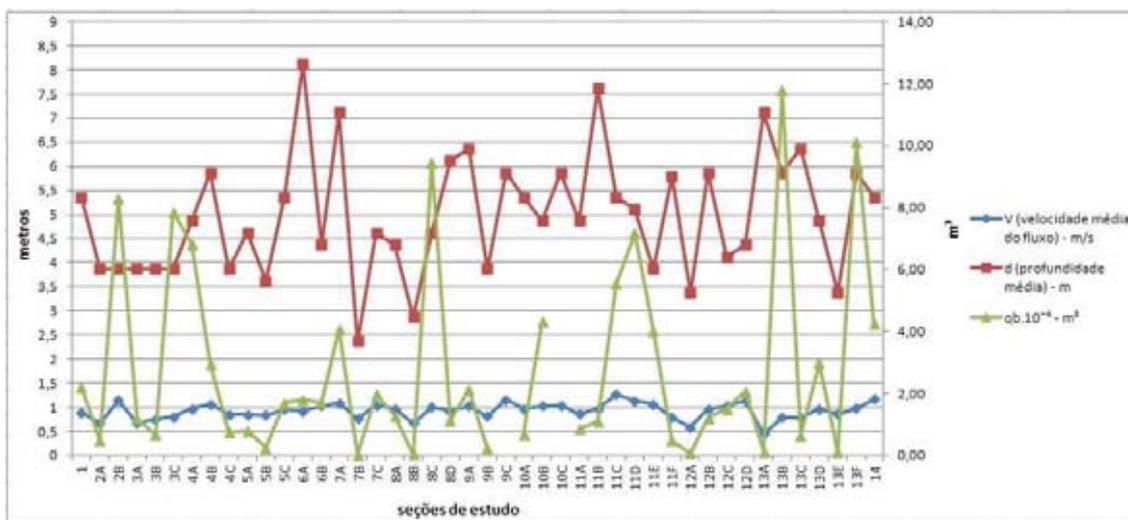


Figura- 26: Relações entre a velocidade média, profundidade média e deslocamento da carga sedimentar de fundo de cada canal.

7- Conclusão

A aplicação deste estudo permite caracterizar a área em questão como trecho multicanal, com baixa declividade média, morfologia estável de canal, baixa energia e, portanto baixo deslocamento de material de fundo.

A morfologia do canal está ligada à estabilidade dos arquipélagos o que comprova a existência de um trecho multicanal. Diante da classificação morfológica de trechos com canais múltiplos proposta por Nanson e Knighton (1996) esse trecho do rio Paraná não se encaixaria em um tipo específico, poderia ser tanto o tipo 1c quanto o tipo 2.

Poderia ser o tipo 1 c: “Sistemas dominados por lama: ocorre em um ambiente lamoso, nestes sistemas os canais têm gradiente baixo e acreção lenta, transporta pouca carga de fundo e nas margens e planície de inundação há lama clástica muito coesiva. Este subtipo é o que menos recebe influência da vegetação.” No trecho de estudo, através de observações em campo foram contabilizadas em maioria as margens com textura argilosa e de acordo com os resultados dos cálculos efetuados, o gradiente (declividade) da área encontra-se baixo, conseqüentemente com uma energia também baixa. No entanto o ambiente encontrado na área de estudo não é essencialmente lamoso.

Ou mesmo o tipo 2: “Rios que possuem em maior quantidade sedimentos arenosos e ilhas que formam novos canais. As ilhas são vegetadas e possuem uma boa estabilidade, devido a essa vegetação densa.” Nesta caracterização o rio Paraná também pode ser inserido, exceto pelo fato de que a estabilidade das ilhas não é exatamente garantida por vegetação densa, sendo que há margens onde verifica-se a ocorrência de banhados e há margens em que a vegetação é composta por somente por gramíneas.

A literatura afirma que para manter a eficiência o canal torna-se múltiplo de modo reduzir a largura e igualmente que aumenta sua declividade, esse fato foi confirmado a partir dos estudos realizados por meio de correlação matemática com os dados obtidos em campo.

Quando estudada a distribuição da vazão no trecho, foram identificadas duas situações diferentes, na porção mais a montante há nítida assimetria marcada no canal, do lado paranaense predomina o canal principal com maior vazão, diferente do que ocorre no restante do trecho, onde há uma distribuição mais homogênea de vazão entre os canais.

Aparentemente a velocidade do fluxo não tem influência significativa no aumento de número de canais em um trecho muticanal, pelo menos não foi observada correlação no estudo realizado.

A energia das seções multicanais é sempre maior do que a energia nos trechos únicos. Quando somadas as potências específicas de canal do trecho

multicanal encontram-se valores bem superiores, comprovando a eficiência do rio em se ajustar para esse tipo de canal. Fato que corrobora também para que haja um maior deslocamento de material de fundo nas seções onde encontram-se os canais múltiplos já que a energia é maior.

8-Referências

- AMSLER, M.L., PRENDES, H.H., ROMANO, C.F. Características de grandes dunas observada en el rio Paraná. In : *XIX Congresso Latinoamericano de Hidráulica*, v. I.pp. 329-338, Córdoba, Argentina, 2000.
- BAGNOLD, R.A. An approach to the sediment transport problem from general physics: U.S. Geol. Survey Prof. Paper: 422-I, 1966.
- BLOTT, S.J. and PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248, 2001.
- BRAVARD, J.P. & PETTIT, F. Les cours d'eau: Dynamique du système fluvial. Armand Colim. Paris 2000.
- CHARLTON, R. Fundamentals of Fluvial Geomorphology, Routledge, London 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 313 p. 1981.
- CORRADINI, F. A. Processos de conectividade e a vegetação ripária do Alto Rio Paraná - MS –dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá-Maringá 2006.
- CREMON, É. H. Leques Aluviais na Calha do Rio Paraná: Morfometria e Relações Geomorfológicas.- monografia de conclusão de curso, Universidade Estadual de Maringá- Maringá, 2009.
- CRISPIM, J.Q. 2001. Alterações na hidrologia do canal após construção de reservatório a montante: o caso da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, Rio Paraná. Dissertação e mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Maringá, PR
- DIETRICH, W., DAY, G., PARKER, G., 1999. The Fly River, Papua New Guinea: inferences about river dynamics, floodplain sedimentation and fate of sediment. In: Miller, A., Gupta,A. (Eds.), *Varieties of Fluvial Forms*. Wiley, pp. 345–376.
- FERNANDEZ, O. V. Q. ; SANTOS, M. L. ; FULFARO, V. J. Caracterização e distribuição dos sedimentos de fundo do rio Paraná em Porto Rico (PR).. *Ciência Geográfica JCR*, Bauru, SP, v. VI, n. 1, p. 25-32, 2000.
- FORTES, E. Geomorfologia do baixo curso do rio Ivinhema, MS: uma abordagem morfogenética e morfoestrutural. 2003, 199p. Tese de doutorado - Inst. Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro. 2003.

FORTES, E., STEVAUX, J.C. & VOLKMER, S., Neotectonics and channel evolution of the lower Ivinhema River, A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil. *Geomorphology*, 70:325-338, 2005.

FORTES, E.;VOLKMER, S.;STEVAUX, J.C. e MARQUES, A. J. Anomalias de Drenagem e Controles Morfotectônicos da Evolução dos Terraços do Baixo Curso do Rio Ivinhema -MS. In:Geociências(São Paulo), v. 26, p. 249-261, 2007.

HUANG, H. Q., and G. C. NANSON. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action, *Earth Surf. Processes Landforms*, 25, 1 –13, 2000.

HUANG, H. Q., and G. C. NANSON. Why some alluvial rivers develop an anabranching pattern, *Water Resour. Res.*, 43, W07441, doi:10.1029/2006WR005223, 2007.

JANSEN, J. D., and G. C. NANSON. Anabranching and maximum flow efficiency in Magela Creek, northern Australia, *Water Resour. Res.* 40, W04503, doi:10.1029/2003WR002408, 2004.

JANSEN, J. D., and G. C. NANSON. Functional relationships between vegetation, channel morphology, and flow efficiency in an alluvial (anabranching) river, *Journal of Geophysical Research – Earth Surface* , 115, F04030, 2010.

KNIGHTON, A. D. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, 383 pp., Edward Arnold, London, 1998.

LATRUBESSE, E.M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*, 101:130-145, 2008.

LATRUBESSE, E.M.; Stevaux, J.C. & Sinha, R. Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(1):1-18, 2005.

LEOPOLD, L. B., and M. G.WOLMAN. River channel patterns: Braided, meandering and straight, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 282-B. 1957.

LEOPOLD, L.B. & MADDOCK, T. The Hydraulics geometry of stream channel and some physiographic implications. *Geological Survey Professional*. 252, 1-55. 1953.

MARTINS, D. P. Dinâmica das formas de leito e transporte de carga de fundo no Alto Rio Paraná – dissertação de mestrado,Universidade Estadual de Maringá- Maringá, PR. 2004.

MARTINS, D.P. Aménagements hydroélectriques et impacts sur La dynamique des flux d'eau et de sédiments. Le cas du haut Paraná, Brésil. Tese de doutorado Université Lumière Lyon 2, 2008.

MORISAWA, M., Stream, their dynamics and morfology. McGraw- Hill Boock Company, New York, 175 p., 1968.

NANSON G.C and HUANG, H.Q. Least action principle, equilibrium states, iterative adjustment and the stability of alluvial channels. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 923–942, doi:10.1002/esp.1584. 2008.

NANSON, G. C., and A. D. KNIGHTON. Anabranching rivers: their cause, character, and classification, *Earth Surf. Processes Landforms*, 21, 217-239. 1996.

NANSON, G. C., and H. Q. HUANG. Anabranching rivers: Divided efficiency leading to fluvial diversity, in *Varieties of Fluvial Form*, edited by A. J. Miller and A. Gupta, pp. 477– 494, John Wiley, Hoboken, N. J. 1999.

ORFEO, O.; STEVAUX, J. C. Hydraulic and morphological characteristics of the middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil). *Geomorphology*, v. 44, n. 34, p. 309-322. 2002.

ROCHA, P.C. Dinâmica dos canais no sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR. 2002. 171f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR. 2002.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. *Ciência & Ambiente*, n. 24, p. 75-92, Jan/Jun. 2002.

SANTOS, M. L. ; STEVAUX, J. C. . Facies and architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Paraná river. *Quaternary International*, Inglaterra, v. 72, p. 87-94, 2000.

SANTOS, V. C. PROCESSOS FLUVIAIS EM BARRAS DE SOLDAMENTO: RIO PARANÁ - PR dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista-Rio Claro, SP. 2010.

SOUZA FILHO, E. E.Aspectos da Geologia e Estratigrafia dos Depósitos Sedimentaresdo Rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR), Tese de doutorado - Inst.Geociências, USP, São Paulo: 214 pp, 1993.

SOUZA FILHO, E.E.; STEVAUX, J.C. Geology and Geomorphology of the Baía-Curutuba- Ivinheima River complex. In *The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*, Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS (eds). *Blackhuys Publishers: Leiden, The Netherlands*; 1-30. 2004.

STEVAX, J. C. Rio Paraná: Geomorfogênese, sedimentologia e evolução quaternária de seu curso superior. 1993, Tese (Doutorado) Inst. de Geoc. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1993.

STEVAUX, J. C. . The upper Paraná River (Brazil): Geomorphology, sedimentology and Paleoclimatology. *Quaternary International* **JCR**, Grã-Bretanha, v. 21, p. 143-161, 1994.

STEVAUX, J.C. & Souza, I.A. Floodplain construction in an anastomosed river. *Quaternary International*, 14:55-65, 2004

STEVAUX, J.C., Corradini, F.A. & Aquino, S. Connectivity processes and riparian vegetation of the Upper Paraná River, Brazil. *Journal of South American Earthscience*, 2012, (no prelo).

STEVAUX, J.C., et al., Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil, *Geomorphology*, doi:10.1016/j.geomorph.2009.03.015, 2009.

STEVAUX, J.C., PAROLIN, M., Leli, I.T., STEVAUX, R.S., CREMON, E.H. MENEZES, H.R. Processos construtores de planície de aluvial: exemplo do Holoceno do alto rio Paraná. XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. La Plata, Argentina, Resúmenes 1:59. 2009.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgard Blucher. 317p. 1973.

VAN RIJN, L. C. "Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport". *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 110, no 10, ASCE, 1984.

Anexos

Anexo A- Caderneta de campo

Régua: 01/02/2011- 3,70m

02/02/2011- 3,48m

04/02/2011- 3,47m

Seção 01- chegada: 10:24 (01/02/2011)

22°43.062'

53°10.627'

Seção- 10: 32 a 10:49

Horário do programa: 10:03

Q= 10386,220 m³/s

L=1250,23m

Coleta de fundo: 10:56

Textura: areia- média a grossa

Seção 02A- chegada: 12:31 (01/02/2011)

22°45.328'

53°14.220'

Seção- 12: 32 a 12:41

Horário do programa: 11:56

Q= 8083,592 m³/s

L=946,55 m

Coleta de fundo: 12:47

Textura: areia- média a grossa

Seção 02B- chegada: 17:09 02/02/2011

22°43.919'

53°14.980'

Seção- 17: 09 a 17:18

Horário do programa: 16:32

Q= 2240,666 m³/s

L=774,02 m

Coleta de fundo: 17:27

Textura: areia- muito fina com seixo de 8cm

Seção 03A- chegada: 12:53 (01/02/2011)

22°45.924'

53°15.525'

Seção- 12:54 a 13:04

Horário do programa: 12:49

Q= 7241,422 m³/s

L=991,22 m

Coleta de fundo: 13:07 22°45.697'

53°15.6 22'

Textura: areia- média a grossa

Seção 03B- chegada: 09:26 (02/02/2011)

22°45.178'

53°15.925'

Seção- 09:27 a 09:31

Horário do programa: 08:43

Q= 577,746 m³/s

L=253,01 m

Coleta de fundo: 09:34 22°45.111'

53°15.949'

Textura: areia- média a grossa

Seção 03C- chegada: 16:40 (02/02/2011)

22°44.784'

53°16.183'

Seção- 16:44 a 16:50

Horário do programa: 16:06

Q= 2136,977 m³/s

L=770,32 m

Coleta de fundo: 16:52 22°44.785'

53°16.184'

Textura: areia- muito grossa a grânulos

Seção 04A- chegada: 10:50 (02/02/2011)

22°47.639'

53°20.091'

Seção- 10:58 a 11:04

Horário do programa: 10:19

Q= 1809,758 m³/s

L=379,25 m

Coleta de fundo: 11:08 22°47.678'

53°19.985'

Textura: areia- muito grossa a grânulos

Seção 04B- chegada: 10:25 (02/02/2011)

22°47.162'

53°20.362'

Seção- 10:28 a 10:39

Horário do programa: 09:54

Q= 5319,121 m³/s

L=869,43 m

Coleta de fundo: 10:43 22°46.869'

53°20.398'

Textura: areia- média a grossa

Seção 04C- chegada: 10:00 (02/02/2011)

22°46.539'

53°20.644'

Seção- 10:02 a 10:11

Horário do programa: 09:26

Q= 2105,009 m³/s

L=842,64 m

Coleta de fundo: 10:16 22°46.271'

53°20.6 42'

Textura: areia- média a grossa

Seção 05A- chegada: 11:15 (02/02/2011)

22°48.237'

53°21.539'

Seção- 11:17 a 11:22

Horário do programa: 10:37

Q= 1553,196 m³/s

L=413.27 m

Coleta de fundo: 11:25 22°48.149'

53°21.5 78'

Textura: areia- média a grossa

Seção 05B- chegada: 11:33 (02/02/2011)

22°47.906'

53°21.539'

Seção- 11:35 a 11:36

Horário do programa: 10:52

Q= 214,936 m³/s

L=100,52 m

Coleta de fundo: 11:39 22°47.897'

53°21.5 78'

Textura: areia- fina a média

Seção 05C- chegada: 11:43 (02/02/2011)

22°47.780'

53°21.616'

Seção- 11:45 a 12:06

Horário do programa: 11:11

Q= 7368,554 m³/s

L=2166,31 m

Coleta de fundo: 12:12 22°46.990'

53°21.9 01'

Textura: areia- média a grossa

Seção 06A- chegada: 12:28 (02/02/2011)

22°48.560'

53°22.825'

Seção- 12:30 a 12:39

Horário do programa: 11:54

Q= 4925,757 m³/s

L=726,64 m

Coleta de fundo: 12:43 22°48.388'

53°23.5 25'

Textura: areia- média a grossa

Seção 06B- chegada: 08:55 (04/02/2011)

22°47.601'

53°23.525'

Seção- 08:59 a 09:11

Horário do programa: 08:26

Q= 4557,505 m³/s

L=1072,52 m

Coleta de fundo: 10:18 22°47.319'
53°23.6 33'

Textura: areia- fina a média com grânulos

MD: argilosa- barranco alto

ME: argilosa

Seção 07A- chegada: 13:07 (02/02/2011)

22°49.171'

53°24.568'

Seção- 13:10 a 13:19

Horário do programa: 12:34

Q= 4650,825 m³/s

L=899,35 m

Coleta de fundo: 13:22 22°49.395'
53°24.4 87'

Textura: areia- média a grossa

Seção 07B- chegada: 12:52 (02/02/2011)

22°48.956'

53°24.713'

Seção- 12:56 a 12:59

Horário do programa: 12:14

Q= 211,964 m³/s

L=164,10 m

Coleta de fundo: 13:00 22°48.919'
53°24.7 26'

Textura: areia- fina

Seção 07C- chegada: 09:16 (04/02/2011)

22°47.733'

53°25.154'

Seção- 09:18 a 09:27

Horário do programa: 08:42

Q= 4712,889 m³/s

L=979,24 m

Coleta de fundo: 10:11 22°47.914'
53°25.0 10'

Textura: areia- média a grossa

MD: arenosa crevasse

ME: argilosa

Seção 08A- chegada: 13:34 (02/02/2011)

22°51.176'

53°27.341'

Seção- 13:37 a 13:50

Horário do programa: 13:05
 Q= 4825,736 m³/s
 L=1249,39 m
 Coleta de fundo: 13:54 22°50.712'
 53°27.6 12'
 Textura: areia- média a grossa

Seção 08B- chegada: 15:12 (03/02/2011)
 22°50.106'
 53°27.807'
 Seção- 15:14 a 15:16
 Horário do programa: 14:31
 Q= 245,283 m³/s
 L=162,79 m
 Coleta de fundo: 15:18 22°50.072'
 53°27.8 28'
 Textura: areia- fina
 MD: argilosa
 ME: banhado

Seção 08C- chegada: 16:00 (03/02/2011)
 22°47.770'
 53°28.104'
 Seção- 16:01 a 16:04
 Horário do programa: 15:19
 Q= 816,619 m³/s
 L=283,66 m
 Coleta de fundo: 16:06 22°49.700'
 53°28.1 32'
 Textura: areia- média a grossa
 MD: argilosa (talvez)
 ME: argilosa

Seção 08D- chegada: 09:38 (04/02/2011)
 22°49.529'
 53°28.229'
 Seção- 09:38 a 09:46
 Horário do programa: 09:01
 Q= 3620,279 m³/s
 L=774,99 m
 Coleta de fundo: 09:56 22°49.327'
 53°28.3 13'
 Textura: areia- fina a média
 MD: argilosa
 ME: argilosa

Seção 09A- chegada: 14:01 (02/02/2011)
 22°51.895'
 53°28.973'
 Seção- 14:03 a 14:13

Horário do programa: 13:28
Q= 4900,951 m³/s
L=1182,53 m
Coleta de fundo: 14:17 22°51.529'
53°29.1 29'
Textura: areia- fina a média

Seção 09B- chegada: 15:28 (03/02/2011)
22°50.546'
53°29.933'
Seção- 15:29 a 15:31
Horário do programa: 14:46
Q= 206,530 m³/s
L=116,34 m
Coleta de fundo: 15:34 22°50.514'
53°29.9 38'
Textura: areia- fina
MD: argilosa
ME: argilosa

Seção 09C- chegada: 15:40 (03/02/2011)
22°50.375'
53°30.106'
Seção- 15:41 a 15:49
Horário do programa: 15:04
Q= 4633,607 m³/s
L=1060,74 m
Coleta de fundo: 15:52 22°50.121'
53°30.1 32'
Textura: areia- fina a grossa com grânulos
MD: argilosa- crevasse
ME: argilosa

Seção 10A- chegada: 14:28 (02/02/2011)
22°53.135'
53°31.455'
Seção- 14:30 a 14:39
Horário do programa: 13:55
Q= 4638,199 m³/s
L=1174,18 m
Coleta de fundo: 14:43 22°52.797'
53°31.6 04'
Textura: areia- fina a média

Seção 10B- chegada: 14:47 (03/02/2011)
22°52.163'
53°32.299'
Seção- 14:48 a 14:52
Horário do programa: 14:08
Q= 2171,780 m³/s

L=515,02 m
 Coleta de fundo: 14:55 22°52.016'
 53°32.294'

Textura: areia- fina a grossa
 MD: banhado
 ME: argilosa

Seção 10C- chegada: 13:33 (03/02/2011)

22°51.293'
 53°33.059'
 Seção- 13:35 a 13:41
 Horário do programa: 12:56
 Q= 2487,442 m³/s
 L=579,80 m
 Coleta de fundo: 13:44 22°51.411'
 53°32.911'

Textura: areia- grossa a grânulos
 MD: argilosa
 ME: argilosa

Seção 11A- chegada: 09:25 (03/02/2011)

22°54.604'
 53°32.690'
 Seção- 09:37 a 09:44
 Horário do programa: 08:59
 Q= 1737,942 m³/s
 L=610,31 m
 Coleta de fundo: 09:47 22°54.397'
 53°32.759'

Textura: areia- média a grossa

Seção 11B- chegada: 09:54 (03/02/2011)

22°54.070'
 53°33.248'
 Seção- 09:56 a 10:01
 Horário do programa: 09:17
 Q= 3376,399 m³/s
 L=438,40 m
 Coleta de fundo: 10:07 22°53.974'
 53°33.330'

Textura: areia- média
 MD: argilosa

*Comentário para 11A e B: área de ativa deposição arenosa

Seção 11C- chegada: 14:30 (03/02/2011)

22°53.207'
 53°34.352'
 Seção- 14:31 a 14:35
 Horário do programa: 13:50
 Q= 1920,809 m³/s

L=479,18 m
 Coleta de fundo: 14:37 22°53.293'
 53°34.1 93'

Textura: areia- média
 MD: argilosa
 ME: argilosa alta

Seção 11D- chegada: 14:21 (03/02/2011)

22°53.085'
 53°34.576'
 Seção- 14:22 a 14:25
 Horário do programa: 13:40
 Q= 1344,866 m³/s
 L=319,40 m
 Coleta de fundo: 14:27 22°53.136'
 53°34.4 81'

Textura: areia- média a grossa
 MD: argilosa
 ME: argilosa

Seção 11E- chegada: 14:09 (03/02/2011)

22°52.920'
 53°34.944'
 Seção- 14:10 a 14:14
 Horário do programa: 13:29
 Q= 1060,239 m³/s
 L=383,57 m
 Coleta de fundo: 14:16 22°52.918'
 53°34.8 16'

Textura: areia-fina a média
 MD: argilosa
 ME: argilosa alta

Seção 11F- chegada: 13:56 (03/02/2011)

22°52.795'
 53°35.258'
 Seção- 14:01 a 14:03
 Horário do programa: 13:18
 Q= 509,588 m³/s
 L=109,90 m
 Coleta de fundo: 14:05 22°52.805'
 53°35.2 26'

Textura: areia- fina
 MD: argilosa
 ME: argilosa

Seção 12A- chegada: 10:16 (03/02/2011)

22°56.055'
 53°34.147'
 Seção- 10:17 a 10:18

Horário do programa: 09:34

Q= 209,963 m³/s

L=104,66 m

Coleta de fundo: 10:21 22°56.023'
53°34.1 54'

Textura: areia- média a grossa com clasto de argila

MD: várzea baixa

ME: várzea baixa

*Comentário: areia média a grossa com clastos de argila- feição deposicional

Seção 12B- chegada: 10:25 (03/02/2011)

22°55.946'

53°34.325'

Seção- 10:27 a 10:39

Horário do programa: 09:54

Q= 4737,630 m³/s

L=918,85 m

Coleta de fundo: 10:42 22°55.668'
53°34.3 78'

Textura: areia- grossa a grânulos com seixos pequenos

MD: barranco argiloso 1,80m

ME: 20m da margem (várzea baixa) área de banhado

Seção 12C- chegada: 10:51 (03/02/2011)

22°55.174'

53°35.567'

Seção- 10:53 a 10:58

Horário do programa: 10:13

Q= 920,493 m³/s

L=344,10 m

Coleta de fundo: 11:00 22°55.118'
53°35.6 46'

Textura: areia-fina a média

MD: argilosa 2m

ME: várzea baixa argilosa

Seção 12D- chegada: 13:05 (03/02/2011)

22°54.662'

53°36.641'

Seção- 13:05 a 13:13

Horário do programa: 12:29

Q= 3594,930 m³/s

L=1012,22 m

Coleta de fundo: 13:13 22°54.833'
53°36.3 58'

Textura: areia- fina a média

MD: argilosa

ME: argilosa alta

Seção 13A- chegada: 11:37 (03/02/2011)

22°57.149'

53°36.074'

Seção- 11:38 a 11:47

Horário do programa: 11:02

Q= 4621,313 m³/s

L=902,58 m

Coleta de fundo: 11:49 22°57.344'

53°35.8 18'

Textura: areia- média a grossa com grânulos

MD: banhado

ME: argilosa

Seção 13B- chegada: 11:28 (03/02/2011)

22°57.035'

53°36.174'

Seção- 11:30 a 11:31

Horário do programa: 10:46

Q= 350,337 m³/s

L=72,88 m

Coleta de fundo: 11:33 22°57.052'

53°36.1 64'

Textura: areia- média e clastos de sílica e argila

MD: banhado

ME: banhado

Seção 13C- chegada: 11:09 (03/02/2011)

22°57.006'

53°36.229'

Seção- 11:10 a 11:17

Horário do programa: 10:33

Q= 936,326 m³/s

L=656,86 m

Coleta de fundo: 11:20 22°56.866'

53°36.3 78'

Textura: areia- fina a média

MD: banhado

ME: banhado arenoso

Seção 13D- chegada: 12:27 (03/02/2011)

22°56.559'

53°36.860'

Seção- 12:29 a 12:35

Horário do programa: 11:51

Q= 1718,854 m³/s

L=481,42 m

Coleta de fundo: 12:37 22°56.473'

53°37.0 19'

Textura: areia- grossa a grânulos

MD: argilosa

ME: barranco argiloso

Seção 13E- chegada: 12:41 (03/02/2011)

22°56.395'

53°37.204'

Seção- 12:42 a 12:45

Horário do programa: 12:01

Q= 591,504 m³/s

L=269,40 m

Coleta de fundo: 12:47 22°56.340'

53°37.293'

Textura: areia- fina

MD: argilosa alta

ME: argilosa

Seção 13F- chegada: 12:49 (03/02/2011)

22°56.311'

53°37.424'

Seção- 12:51 a 12:53

Horário do programa: 12:08

Q= 1453,115 m³/s

L=202,60 m

Coleta de fundo: 12:57 22°56.303'

53°37.486'

Textura: areia- muito grossa a grânulos

MD: argilosa

ME: argilosa

Seção 14- chegada: 11:54 (03/02/2011)

22°58.331'

53°36.523'

Seção- 11:55 a 12:14

Horário do programa: 11:29

Q= 9640,955 m³/s

L=1954,99 m

Coleta de fundo: V maior= 12:16 22°57.958' 12:20 22°58.185'

53°37.505' 53°37.029'

Textura vale maior: rocha / areia fina a média com grânulos

MD: barranco argiloso

ME: várzea/ banhado

Legenda:

Q- vazão instantânea

L- comprimento

MD- margem direita

ME- margem esquerda

Anexo B- Série histórica de vazões- Porto São José (1963-2010)

Ano	Máxima	Mínima	Média
1963	8050,00 m ³ /s em 24/11/1963	3360,00 m ³ /s em 21/10/1963	4261,63 m ³ /s
1964	17720,00 m ³ /s em 21/02/1964	3540,00 m ³ /s em 19/08/1964	6042,21 m ³ /s
1965	21480,00 m ³ /s em 13/03/1965	4280,00 m ³ /s em 12/09/1965	10313,30 m ³ /s
1966	22640,00 m ³ /s em 18/02/1966	4620,00 m ³ /s em 25/09/1966	9678,88 m ³ /s
1967	17780,00 m ³ /s em 17/03/1967	4360,00 m ³ /s em 21/10/1967	8902,33 m ³ /s
1968	15420,00 m ³ /s em 27/01/1968	3414,00 m ³ /s em 10/10/1968	6730,36 m ³ /s
1969	11640,00 m ³ /s em 23/11/1969	2552,00 m ³ /s em 22/09/1969	5218,70 m ³ /s
1970	16130,00 m ³ /s em 06/03/1970	3270,00 m ³ /s em 26/08/1970	6711,47 m ³ /s
1971	12850,00 m ³ /s em 31/12/1971	3342,00 m ³ /s em 26/08/1971	5313,96 m ³ /s
1972	17120,00 m ³ /s em 24/02/1972	4580,00 m ³ /s em 05/07/1972	8870,96 m ³ /s
1973	18100,00 m ³ /s em 28/01/1973	4800,00 m ³ /s em 26/09/1973	8395,47 m ³ /s
1974	21300,00 m ³ /s em 28/03/1974	4560,00 m ³ /s em 25/09/1974	9076,32 m ³ /s
1975	15800,00 m ³ /s em 04/01/1975	4660,00 m ³ /s em 17/09/1975	7249,05 m ³ /s
1976	18330,00 m ³ /s em 30/12/1976	5800,00 m ³ /s em 04/08/1976	9683,40 m ³ /s
1977	24960,00 m ³ /s em 11/02/1977	5460,00 m ³ /s em 23/08/1977	9549,12 m ³ /s
1978	19800,00 m ³ /s em 25/01/1978	5960,00 m ³ /s em 30/08/1978	8424,62 m ³ /s
1979	15890,00 m ³ /s em 31/01/1979	5440,00 m ³ /s em 06/11/1979	8557,04 m ³ /s
1980	23275,00 m ³ /s em 04/03/1980	6240,00 m ³ /s em 29/07/1980	10100,97 m ³ /s
1981	20640,00 m ³ /s em 25/01/1981	4920,00 m ³ /s em 21/07/1981	8554,84 m ³ /s
1982	21300,00 m ³ /s em 31/03/1982	4960,00 m ³ /s em 13/10/1982	12301,18 m ³ /s
1983	33740,00 m ³ /s em 18/02/1983	8300,00 m ³ /s em 24/08/1983	17590,68 m ³ /s
1984	19270,00 m ³ /s em 10/01/1984	6340,00 m ³ /s em 03/07/1984	9219,43 m ³ /s
1985	18260,00 m ³ /s em 16/02/1985	6560,00 m ³ /s em 27/11/1985	9793,26 m ³ /s
1986	9625,00 m ³ /s em 22/02/1986	5380,00 m ³ /s em 06/05/1986	7762,26 m ³ /s
1987	12380,00 m ³ /s em 23/05/1987	5160,00 m ³ /s em 04/01/1987	8178,11 m ³ /s
1988	16560,00 m ³ /s em 12/03/1988	6120,00 m ³ /s em 17/08/1988	9083,67 m ³ /s
1989	17320,00 m ³ /s em 22/02/1989	6260,00 m ³ /s em 11/10/1989	9079,22 m ³ /s
1990	27025,00 m ³ /s em 16/01/1990	5880,00 m ³ /s em 19/06/1990	8881,60 m ³ /s
1991	20880,00 m ³ /s em 08/04/1991	5880,00 m ³ /s em 03/01/1991	9607,37 m ³ /s
1992	18480,00 m ³ /s em 05/05/1992	6700,00 m ³ /s em 22/09/1992	10393,32 m ³ /s
1993	19600,00 m ³ /s em 27/02/1993	6650,00 m ³ /s em 25/07/1993	9586,04 m ³ /s
1994	17480,00 m ³ /s em 01/02/1994	5280,00 m ³ /s em 22/11/1994	8744,44 m ³ /s
1995	19120,00 m ³ /s em 23/02/1995	5680,00 m ³ /s em 15/08/1995	9218,01 m ³ /s
1996	13080,00 m ³ /s em 11/03/1996	6020,00 m ³ /s em 05/08/1996	8168,11 m ³ /s
1997	23620,00 m ³ /s em 28/01/1997	6825,00 m ³ /s em 11/08/1997	10094,64 m ³ /s
1998	16310,00 m ³ /s em 04/04/1998	4780,00 m ³ /s em 30/11/1998	9452,58 m ³ /s
1999	17360,00 m ³ /s em 19/01/1999	6120,00 m ³ /s em 20/09/1999	8917,46 m ³ /s
2000	14160,00 m ³ /s em 24/03/2000	5840,00 m ³ /s em 17/07/2000	7908,12 m ³ /s
2001	11400,00 m ³ /s em 22/02/2001	4140,00 m ³ /s em 09/07/2001	6134,79 m ³ /s
2002	14980,00 m ³ /s em 01/03/2002	5400,00 m ³ /s em 07/01/2002	7318,38 m ³ /s
2003	14220,00 m ³ /s em 23/02/2003	5600,00 m ³ /s em 02/01/2003	7763,77 m ³ /s
2004	11700,00 m ³ /s em 18/04/2004	5640,00 m ³ /s em 02/01/2004	7409,02 m ³ /s
2005	20040,00 m ³ /s em 30/01/2005	5680,00 m ³ /s em 04/07/2005	8302,55 m ³ /s
2006	14250,00 m ³ /s em 22/03/2006	6000,00 m ³ /s em 30/10/2006	8656,21 m ³ /s
2007	18960,00 m ³ /s em 24/02/2007	5900,00 m ³ /s em 02/07/2007	9295,83 m ³ /s
2008	13670,00 m ³ /s em 22/04/2008	5780,00 m ³ /s em 29/12/2008	8171,87 m ³ /s
2009	18640,00 m ³ /s em 15/12/2009	5780,00 m ³ /s em 02/01/2009	9041,97 m ³ /s
2010	22140,00 m ³ /s em 04/02/2010	6080,00 m ³ /s em 12/10/2010	9858,71 m ³ /s

Anexo C- Granulometrias das seções de estudo



