

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL DO RIO JAGUARIBE NO SEMI-ÁRIDO CEARENSE

Andrea Almeida Cavalcante¹ & Sandra Baptista da Cunha²

RESUMO - Este trabalho propõe realizar uma caracterização do sistema fluvial do médio-baixo Jaguaribe, no semi-árido cearense, evidenciando a regularização dada pela barragem do castanhão e pelas passagens molhadas. Além disso, visa traçar algumas inter-relações com as condições de vazão, sedimento e capacidade de canal. Para a realização do trabalho foram utilizados dados do monitoramento de 9 (nove) estações distribuídas entre a barragem do Castanhão e à cidade de Jaguaruana, sendo levantadas medições de vazão, concentração de sedimentos, largura e profundidade das seções transversais e declividade. Os resultados preliminares mostram que grandes barramentos mudam as condições morfológicas de jusante, entretanto, levam algum tempo para serem percebidas. Este é o caso das mudanças observadas à jusante da barragem do Orós, cujo perfil demonstrou uma queda dada, possivelmente, pela erosão. À jusante do açude Castanhão as mudanças são menos perceptíveis, haja vista o tempo de construção do mesmo (2002). Se morfologicamente, as influências de um barramento podem levar um tempo maior para se mostrarem visíveis, hidrológica e sedimentologicamente as variações podem ser vistas de modo mais rápido, já que a descarga líquida tende a ser mais constante durante o ano, tendo picos controlados pela abertura de comportas da barragem, que pode ocorrer ou não dependendo da estação chuvosa.

ABSTRACT- The purpose of this study was to perform the characterization of the of medium-low Jaguaribe river system, which is located in a semi-arid area of the Ceará state. This study also aims at the attainment of evidence for the regularization presented by the Castanhão's dam and wet cross systems. Besides, it wishes to trace some interrelationships among flow, sediment and channel capacity conditions. In order to accomplish this experiment, it was necessary to collect data from 9 (nine) stations distributed between the Castanhão's dam and the Jaguaruana city, such data involved measurement flows, concentration of sediment, width and depth of cross sections and slope. Preliminary study results have shown that, dams, particularly large ones, change the downstream morphologically. However, it takes some time for such changes to be duly noticed. This is, for instance, the situation which has caused the changes observed at the Orós' dam downstream, whose profile has resulted in a fall, possibly caused by erosion. The downstream of the Castanhão's dam changes are still not completely clarified, as it was built in 2002. If morphologically, the influences of a dam may take a long time to be visible, water and sedimentology variations can be seen quickly. Moreover, as the flow tends to be most constant during the year and peaks can be controlled by opening the floodgates of the dam, it may occur or not depending on the rainy season.

Palavras-Chave: Hidrodinâmica fluvial, impactos de barragens, semi-árido cearense.

¹ Professora da Universidade Estadual do Ceará. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense. andreauece@gmail.com

² Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense. Pesquisadora CNPq. sandracunha@openlink.com.br.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas fluviais têm sido estudados desde os primórdios de nossas civilizações, principalmente por geomorfólogos, em razão da curiosidade e da necessidade de compreensão dos processos que ocorrem na evolução e esculturação do relevo. Por serem impulsionados a terem uma dinâmica muito intensa, em função da ação das águas, estes ambientes estão em constante alteração, mudando seus mecanismos deposicionais e formas de esculturação da topografia do leito.

Tal interesse na atualidade relaciona-se, principalmente, às necessidades dos usos, uma vez que a exploração cada vez maior do solo e da água tem desencadeando a aceleração dos processos erosivos e de assoreamento nos vales fluviais, levando a sociedade a se preocupar com o esgotamento dos recursos naturais. Em conseqüência, os reflexos desses processos voltam-se aos próprios usos, limitando-os e comprometendo a idéia de desenvolvimento sustentável. No século XXI, o entendimento do funcionamento dos sistemas fluviais passa a ser de fundamental importância, momento em que toda a comunidade científica está voltada para as questões de sustentabilidade do ambiente, haja vista a necessidade da garantia de continuidade dos usos.

Entre as diversas formas de interferências realizadas pelo homem sobre os ambientes fluviais o barramento de cursos d'água está entre uma das mais significativas do ponto de vista das alterações na dinâmica de canais. Segundo Brandt (2000), o número de barragens tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas. De acordo com o autor em 1900, existiam 427 grandes barragens (maiores que 15 m), em torno do mundo, enquanto em 1950 e 1986, já existiam 5268 e em torno de 39.000, respectivamente. As regiões com maior aumento de grandes barragens durante o período de 1975-1990 foram América do Sul e Central, Ásia e Oceania (Gleick, 1993 *apud* Brandt, 2000).

Apesar dos problemas relacionados ao sedimento serem antigos, somente há pouco mais de cem anos é que os estudos com bases mais teóricas começaram a ser realizados. No Brasil, embora o sedimento já tenha ocasionado inúmeros prejuízos, medições sedimentométricas só começaram a ser registradas a partir de 1950, enquanto que as publicações relacionadas ao tema somente a partir de 1970 (CARVALHO, 2008). Isto confere a dificuldade de entender o comportamento, especialmente, dos ambientes fluviais e que tipo de respostas podem ser previsíveis a partir de uma intervenção antrópica.

Este trabalho propõe realizar uma caracterização do sistema fluvial do médio-baixo Jaguaribe, no semi-árido cearense, procurando evidenciar o regime de regularização dado pela barragem do

castanhão e pelas passagens molhadas³. Além disso, visa traçar algumas inter-relações com as condições de vazão, sedimento e capacidade de canal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

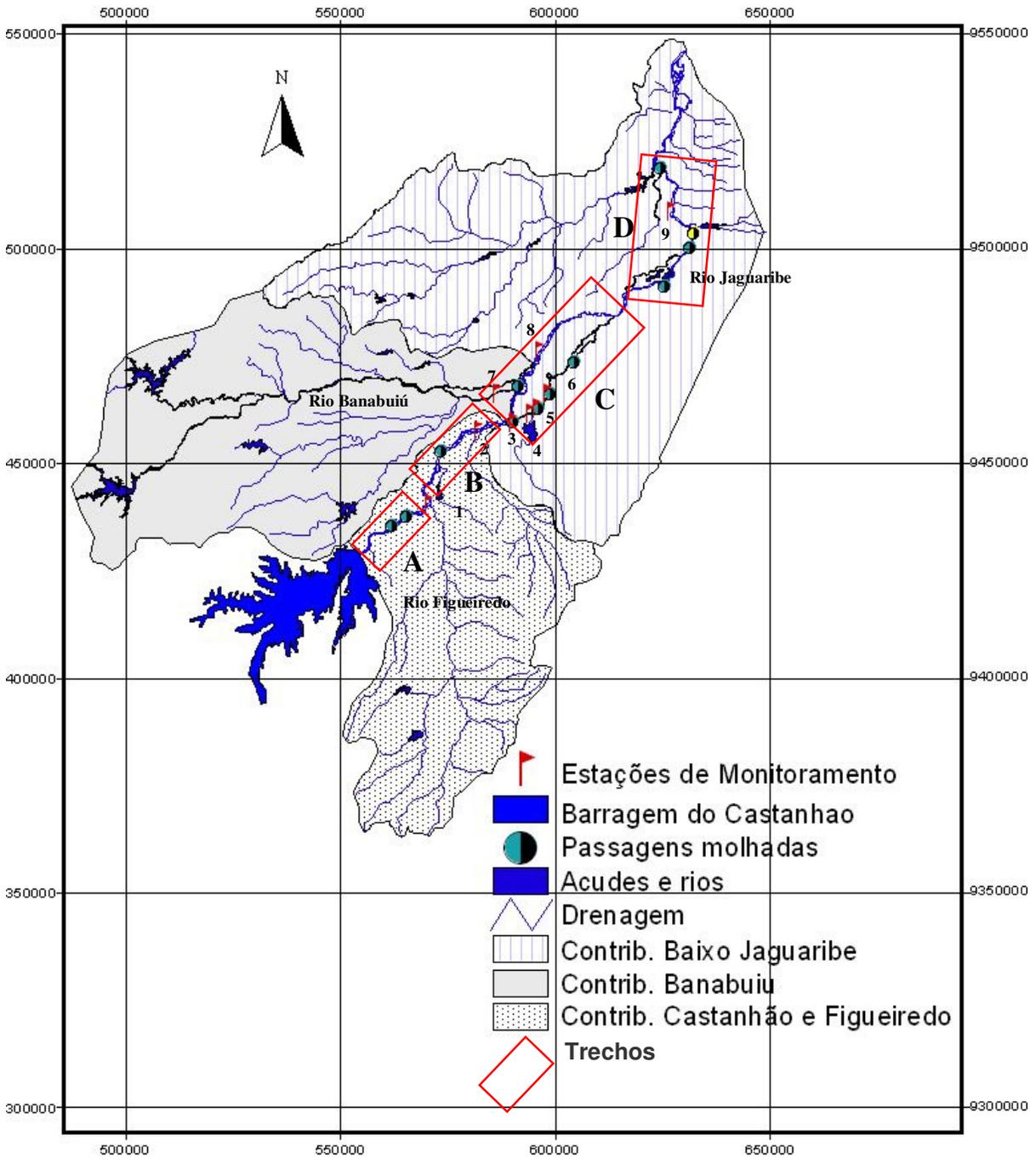
Para a realização do trabalho foram utilizados dados resultantes do monitoramento de 9 (nove) estações distribuídas desde a barragem do Castanhão à cidade de Jaguaruana, nas quais foram levantadas medições de vazão, concentração de sedimentos, largura e profundidade das seções transversais e declividade (figura 1). Tais dados foram levantados entre o período de 2007 e 2009, totalizando 14 campanhas distribuídas entre estações chuvosas e secas. Para as medições de vazão foi utilizado um molinete do tipo hélice para descargas até 100m³/s e ADCP para vazões mais altas. Para as coletas de água utilizou-se uma garrafa de integração vertical para determinação das concentrações.

Os levantamentos topográficos das seções foram realizados com o uso de uma estação total, totalizando 12 (doze) perfis transversais no trecho em análise, em locais representativos previamente estudados. Também foram levantados dados quanto à espacialização das passagens molhadas para uma caracterização mais completa da área de estudo, considerando ser esta fortemente regularizada.

Para efeito de análise a área foi compartimentada em trechos considerando as peculiaridades do sistema de drenagem encontradas desde o Castanhão à foz. Deste modo dividiu-se quatro trechos conforme figura 1 e tabela 1.

As coletas contaram com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Grupo de Estudos Hidrográficos (GEHIDRO) vinculado ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

³ Pequenos barramentos de terra ou concreto construídos com a finalidade de proporcionar travessias em rios de pequeno porte, bem como tornar possível a acumulação de água. Comuns no baixo curso dos rios semi-áridos nordestinos, sazonalmente são destruídas durante a quadra chuvosa.



1- Barra do Figueiredo; 2- Peixe Gordo; 3- Córrego de Areia; 4- Quixaba; 5- Pedrinhas; 6- Cabeça Preta; 7- Banabuiú; 8- Flores; 9- Jaguaruana.

Figura 1 – Localização da área de estudo, identificando as estações monitoradas, passagens molhadas e compartimentação dos trechos.

Tabela 1 – Compartimentação e Caracterização dos trechos na área de estudo

Trecho	Critério	MORFOLOGIA	CONDIÇÕES DE MARGENS E USO
A - Castanhão – Figueiredo	Limite da entrada de afluente importante: rio Figueiredo.	Relativamente meândrico com formação de pequenas ilhas. Alguns setores quase retilíneos. Depósitos de barras menos expressivos. Granulometria do leito maior grosseira.	Vegetação nativa descaracterizada e difíceis de serem identificadas em alguns setores. Baixo uso agrícola.
B - Figueiredo – Bifurcação Limoeiro	Limite para início de bifurcação importante.	Meandros com setores mais sinuosos. Registro de abandono de canais e depósitos de barras.	Vegetação nativa descaracterizada, porém com setores parcialmente conservados em Peixe Gordo. Margens melhor definidas. Uso agrícola especialmente mais próximo às cidades.
C - Bifurcação Limoeiro – Encontro Banabuiú/ Quixeré	Canal se bifurca, formando dois braços com dinâmica diferenciada. Entrada de afluente importante: rio Banabuiú.	Bifurcação de canal. Banabuiú como um grande afluente esquerdo. Trecho de aproximadamente 10 km fortemente assoreado, com vegetação bem afixada no leito. Canal direito recebe praticamente todo o deflúvio do Castanhão. Canal esquerdo é alimentado pelo Banabuiú. Padrão relativamente meândrico. Braço direito mais conservado e menos sinuoso.	Vegetação nativa bastante descaracterizada. Margens de difícil identificação em alguns setores. Forte ocupação. Áreas urbanizadas. Uso agrícola com produção de arroz na planície e fruticultura na chapada do apodi.
D – Encontro Banabuiú/ Itaiçaba	Canal passa a se tornar único após bifurcações até o limite do último barramento.	Bifurcação de canal. Leito esquerdo estreito e seco. Depósito de barras expressivos. Afloramento do Barreiras, margem direita. Padrão meândrico.	Vegetação nativa bem descaracterizada, porém com setores conservados. Margens melhor definidas. Forte ocupação. Uso agrícola e carnicultura em maior escala. Área urbanizada.

3. MORFOLOGIA DE CANAIS EM RIOS BARRADOS

A formação natural dos ambientes fluviais envolve três variáveis fundamentais: vazão, sedimento e tempo. Entretanto, de acordo com Christofolletti (1981), são os fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos d'água, fazendo com que o transporte de sedimentos seja governado pela quantidade e distribuição de precipitações, estrutura geológica, condições topográficas e cobertura vegetal.

Nas últimas décadas, em razão do grande aumento da construção de barramentos em rios, muitos estudos tem sido voltados à avaliação de seus impactos na dinâmica fluvial, tornando-se tema de importante consideração para o entendimento das características e regime de cursos d'água.

A função das barragens difere de uma região para outra, sendo isso uma dependência do tipo de necessidade e do potencial natural da área. A construção de barragens no nordeste brasileiro, por exemplo, tem sido amplamente utilizada para o abastecimento humano e para o desenvolvimento da produção econômica, especialmente a agrícola. Em paralelo, as barragens nessas áreas também controlam as inundações, frequentemente observadas nessas regiões, haja vista o regime concentrado de precipitações e o elevado escoamento proporcionado pela predominância do cristalino.

Por outro lado, a geração de energia elétrica se constitui numa outra funcionalidade importante que as barragens podem assumir. Entretanto requerem condições naturais mais específicas para dar essa resposta, entre elas, topografias mais acidentadas e maior frequência de precipitações.

As características das barragens podem afetar o fluxo de diferentes maneiras. Além disso, o número de barragens construídas num rio tem importante papel. O efeito de um açude pode ser pequeno comparativamente ao de uma barragem, mas quando combinado com sucessivos açudes, este pode ser até mesmo superior aos das barragens. (THOMS & WALKER, 1993 *apud* BRANDT, 2000).

Tais implicações podem ser compreendidas a partir dos mecanismos de energia que o rio necessita para desenvolver sua função. De acordo com Christofolletti (1981), a turbulência e a velocidade das águas estão intimamente relacionadas ao trabalho que o rio executa, ou seja, erosão, transporte e deposição, havendo gasto contínuo de energia ao longo do canal, das nascentes à foz. Essa energia gasta e distribuída longitudinalmente ao curso d'água é definida pelo gradiente de energia, que relaciona-se diretamente com a profundidade e velocidade do fluxo, aceleração da gravidade, e distância entre o fundo e a superfície. Logo, a declividade do gradiente de energia para um determinado comprimento de canal representa perda de energia por fricção e outras influências.

Os canais funcionam a partir do desprendimento de dois tipos de energias: potencial e cinética. A energia potencial é a energia acumulada em qualquer corpo que quando impulsionado, transforma-a em energia cinética ou de movimento, fazendo com que, no caso dos rios, as águas ganhem movimento a partir de suas nascentes. Assim, a energia potencial é convertida, no fluxo, em cinética que ao longo do canal vai sendo dissipada, principalmente, pela fricção do fundo. Por essa razão, ao longo do canal é possível observar três compartimentos distintos que dividem alto, médio e baixo curso, representando área de erosão, transporte e deposição de sedimentos respectivamente.

Essa subdivisão relaciona-se diretamente com a transformação e perda de energia que o rio sofre longitudinalmente. Ora, quanto maior energia potencial, maior o movimento, e maior o poder erosivo. Embora somente uma parcela de energia seja gasta com o transporte de sedimentos, pois a

maior parte (95% a 97%) é gasta na turbulência interna das águas e na fricção nas margens e fundo (MACKIN, 1948; MORISAWA, 1968 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1981), quanto maior o volume de sedimentos transportados, maiores as taxas deposicionais com a redução de declividade, e conseqüentemente, do gradiente de energia.

Baseado nestas considerações, o barramento de cursos d'água, dependendo em que parte longitudinal do canal irá se situar, altera as condições de fluxo a partir da transformação de energia. Por isso, é interessante avaliar o impacto do barramento considerando sua localização longitudinal, tamanho do canal e sua relação com o restante da bacia.

Gregory & Park (1974), analisando o rio Tone, a jusante do reservatório Clatworthy Somerst no sudoeste da Inglaterra, a partir do monitoramento de perfis transversais a montante e a jusante da barragem, observaram que o reservatório tem contribuído para uma substancial diminuição da capacidade do canal à sua jusante. A capacidade do canal imediatamente abaixo da barragem é de 54% da capacidade original, e os efeitos do ajuste da geometria do canal persiste por até 11 km, até que a área de contribuição do Tone seja pelo menos 4 vezes a área de drenagem do reservatório.

Magilligan & Nislow (2005), estudando algumas barragens nos Estados Unidos com a aplicação de indicadores de alterações hidrológicas, a partir de alguns parâmetros hidrográficos, verificaram em 21 locais de diferentes regimes climáticos e hidrológicos as mudanças hidrológicas antes e depois da construção dos barramentos, tanto em rios grandes como pequenos. Os resultados obtidos também mostraram alterações significativas nos picos de fluxo, tanto mínimos como máximos.

É evidente o tamanho do trecho longitudinal que o rio necessitará para realizar o ajuste do canal à jusante dependerá das condições locais e, principalmente, da entrada dos afluentes. Embora, alguns estudos de caso sejam observados para diferentes bacias em diferentes locais, ainda é difícil estabelecer padrões de comportamento para os canais fluviais, sendo necessária ainda muita investigação, principalmente nas áreas semi-áridas onde os canais são caracterizados pela intermitência ou pela mudança a um regime de controle. Por isso, é interessante saber como uma área marcada pela intermitência dos canais se comportará diante de uma condição nova de regularidade regida por barragens, por exemplo.

4. O VALE DO RIO JAGUARIBE

O rio Jaguaribe no Ceará representa a maior fonte de recursos hídricos do Estado. Com cerca de 74.000km² de bacia hidrográfica e 610 km de extensão, este já foi considerado o maior rio seco do mundo, estando atualmente fortemente regularizado por um grande número de barragens de

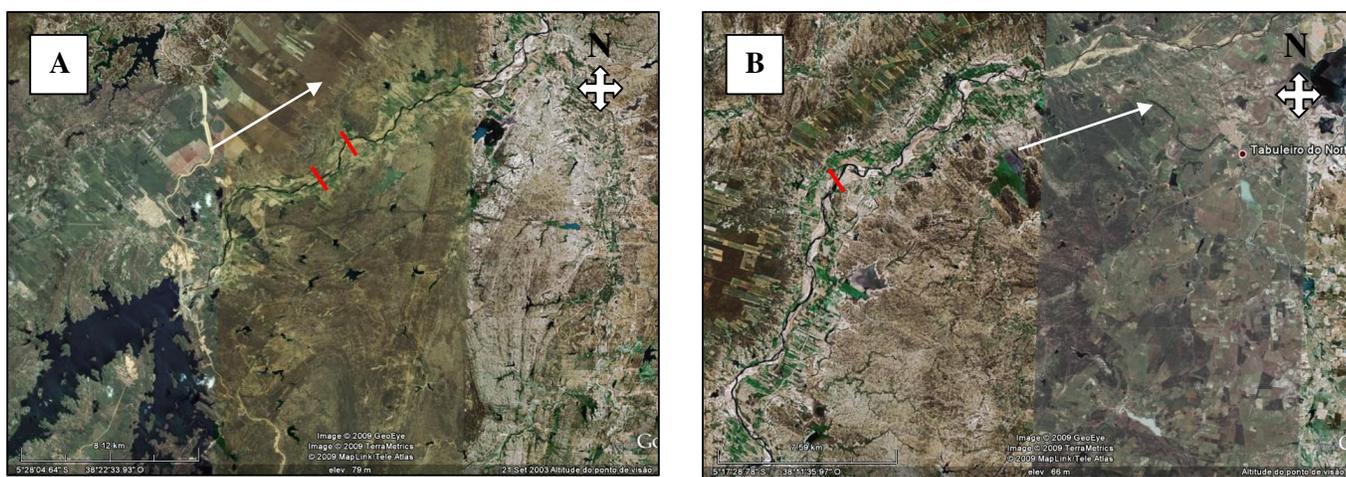
pequeno, médio e grande porte, onde se destaca a barragem do Castanhão, localizada no médio curso deste rio, representando a maior garantia do Estado hoje.

Em seu trajeto, da nascente à foz, cruza o sertão cearense partindo de Tauá na direção NW-SE até o seu encontro com o riacho Conceição, onde segue para leste até a foz do rio Salgado, próximo a Icó. Os trechos praticamente retilíneos no alto Jaguaribe, onde também se incluem alguns afluentes deste rio, são marcados por inflexões bruscas com vários sentidos devido a influências estruturais relacionadas aos falhamentos. Isto pode ser visualizado após a cidade de Icó, onde o Jaguaribe muda bruscamente o seu curso para o sentido norte até alguns quilômetros a jusante da cidade de Jaguaribe, seguindo o sentido nordeste até a cidade de Jaguaruana. A partir desta cidade, já no baixo curso, o rio segue para o norte até sua foz, na cidade de Fortim.

O grande número de barramentos no Estado do Ceará é reflexo das peculiaridades climáticas e geológicas que inferem alto poder de escoamento e, portanto, deficiência de acumulação hídrica nas bacias. No referido Estado são aproximadamente 8.000 açudes (COGERH, 2008) com capacidade total de acumulação aproximada de 18 bilhões de m³, situação que certamente tende a gerar alterações significativas na morfologia dos canais.

Considerando a influência significativa de controle do açude Castanhão (concluído em 2002) para o baixo curso, este estudo apresenta algumas observações para o trecho do rio Jaguaribe compreendido entre o referido açude e a barragem de Itaíçaba, ponto limite entre a área fluvial e estuarina deste rio. Trata-se de um percurso de aproximadamente 183 km, onde o rio atravessa o semi-árido cearense em sua transição do médio ao final do baixo curso.

A figura 2 associada à tabela 1 possibilitam visualizar os trechos e observar a caracterização de cada um deles. Dentre estes é possível observar que os trechos C e D são os mais barrados e os que possuem maior urbanização e uso, em que a agricultura é a atividade motriz.



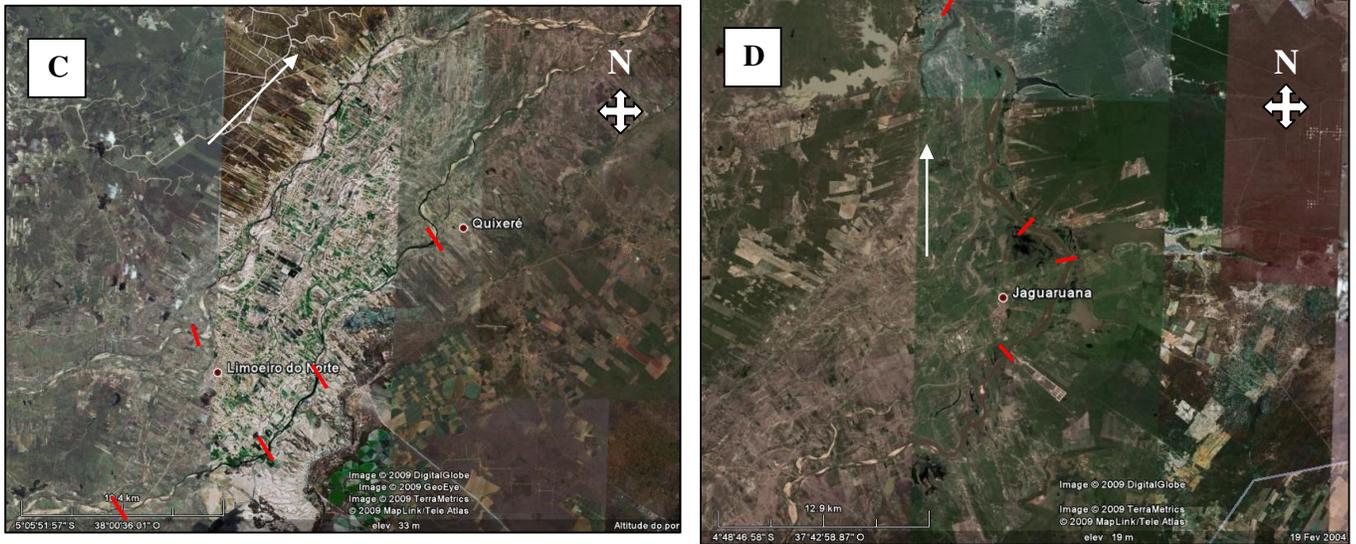


Figura 2 – Compartimentação da área mostrando os quatro trechos estudados. Os traços em vermelho representam as passagens molhadas espacializadas em cada trecho. As setas brancas representam a direção do curso fluvial. Fonte: Google Earth

Embora a barragem do Castanhão seja, de fato, o maior agente potencial modificador da dinâmica fluvial à sua jusante, a seqüência de passagens molhadas distribuídas ao longo do percurso até a foz, provoca o amortecimento das águas contribuindo também para as mudanças nessa dinâmica.

As chamadas passagens molhadas observadas ao longo do percurso constituem uma característica peculiar no semi-árido cearense. Trata-se de pequenos barramentos transversais à calha do rio, em geral utilizados no período de águas baixas para a travessia de carros e pedestres entre comunidades e cidades. Podem ser constituídos de materiais diversos, porém a maioria destas são de concreto com manivas (tubulações) que possibilitam a passagem da água por baixo. Outras são construídas de terra com armações de carnaúba, e podem ser feitas pelas próprias comunidades em locais onde o fluxo seja menor. Pela função principal que estabelecem, as passagens molhadas não possuem a finalidade de acumulação de água, embora, de qualquer forma, acabem gerando o aumento do espelho d'água a montante, beneficiando as áreas ribeirinhas. As mais antigas, vertem água por cima da parede o ano inteiro, sendo que na estação chuvosa são cobertas com a elevação do nível do rio (figura 3).



Figura 3 – Passagem molhada de Quixeré (trecho 3), tipo concretada sem manivas (anéis de concreto tipo tubulações). Observar lâmina d'água passando por cima do barramento (período de estio). Foto do autor (20-01-2009).

Pelo fato da largura do curso d'água torna-se bastante reduzida na estiagem as passagens molhadas são uma opção menos onerosa para as prefeituras, ao contrário do custo com a construção de pontes. Entretanto, quando o rio atinge níveis mais elevados durante as cheias, é comum a destruição das mesmas, o que acaba gerando desmontes de materiais e restos de construção para a calha do rio (figura 4).



Figura 4 – Passagem Molhada de São João (trecho 2), tipo concretada com pilares. Inaugurada no segundo semestre de 2007 e destruída durante as chuvas de 2008. Foto do autor (18-12-2008).

Embora possam ter diversas funcionalidades, tanto as barragens como os açudes⁴, afetam as condições naturais de descarga líquida de alguma forma, podendo determinar mudanças, que a longo prazo, produzem novas condições de estabilidade, através da relação entre a capacidade de transporte de fluxo e a carga de sedimentos liberada do reservatório, junto com a relação entre erosividade de fluxo e erodibilidade de margens (BRANDT, 2000; CARVALHO, 2008; MACKIN, 1948).

Dependendo da localização do reservatório, a retenção de sedimentos, especialmente nas regiões tropicais e áridas, com predominância de erosão de solos, modifica áreas a montante e a jusante da barragem (BRANDT, 2000).

No primeiro caso (montante) a deposição de sedimentos pela redução da velocidade de fluxo impulsionada pelo remanso da barragem tende a promover o assoreamento do reservatório em uma velocidade que dependerá do nível de conservação da bacia, tamanho do reservatório, material de leito, e regime de precipitações. A jusante os efeitos imediatos decorrem da redução da carga de sedimentos efluentes do mesmo, promovendo erosão imediatamente após. Para Mackin,

Este efeito de diminuição da carga devido ao represamento é quase sempre complicado pela eliminação dos picos de descargas e velocidades que resulta da utilização do reservatório como uma bacia de água armazenada (MACKIN, 1948: 494).

A modificação morfológica geralmente ocorre após o trecho de maior erosão, considerando a não existência de afluentes consideráveis. Nesse sentido, para a jusante a natureza procura um ajuste da carga sólida e mudanças morfológicas (Carvalho, 2008).

Embora tendo sido elaborado a partir de uma aproximação através do uso de cartas planimétricas na escala de 1:250.000, um estudo realizado no Vale do Jaguaribe gerou o primeiro perfil longitudinal do curso principal deste rio, considerando toda a capacidade de armazenamento por reservatórios já instalada no final da década de 1960 (figura 5a). Tal estudo constitui uma referência valiosa para as pesquisas nessa área e foi realizado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE em associação com um grupo francês da Association pour L'organisation des Missions de Cooperation Technique-ASMIC.

A fim de traçar um comparativo foi possível traçar um novo perfil longitudinal do rio Jaguaribe com base em dados e ferramentas disponibilizadas pelo Google Earth, considerando toda a ampliação do regime de regularização deste rio (figura 5b).

⁴ Os açudes diferem das barragens porque no primeiro a barragem é pequena, atravessa o leito do rio e a água flui sobre ela (BRANDT, 2000). Para os hidrólogos os açudes representam o corpo d'água formado pela construção do barramento.

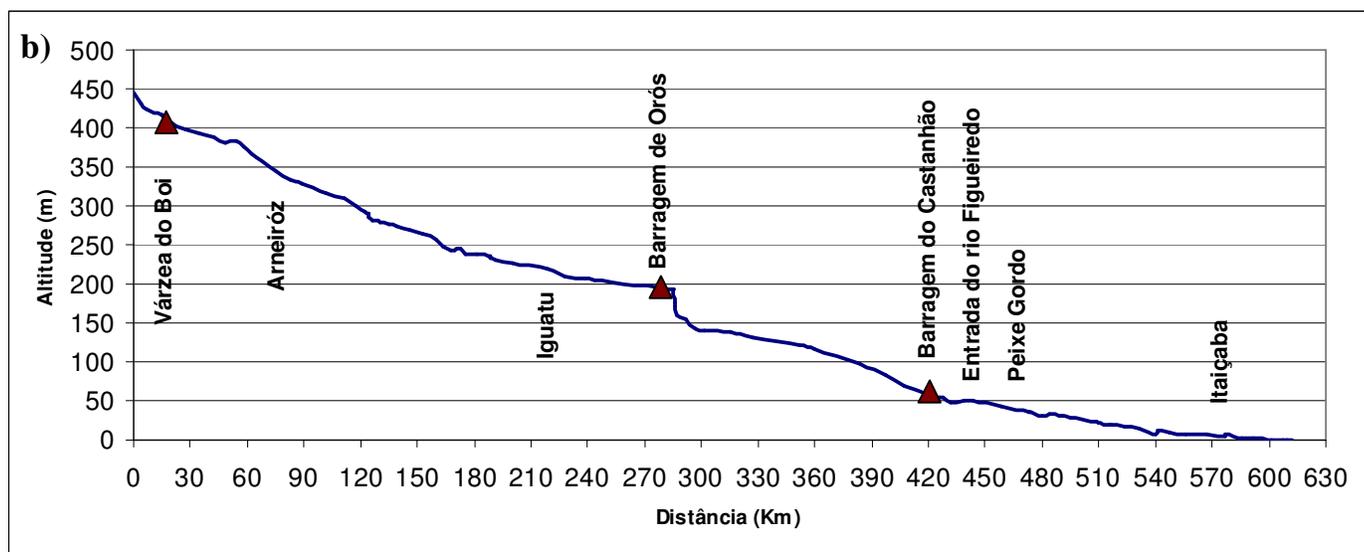
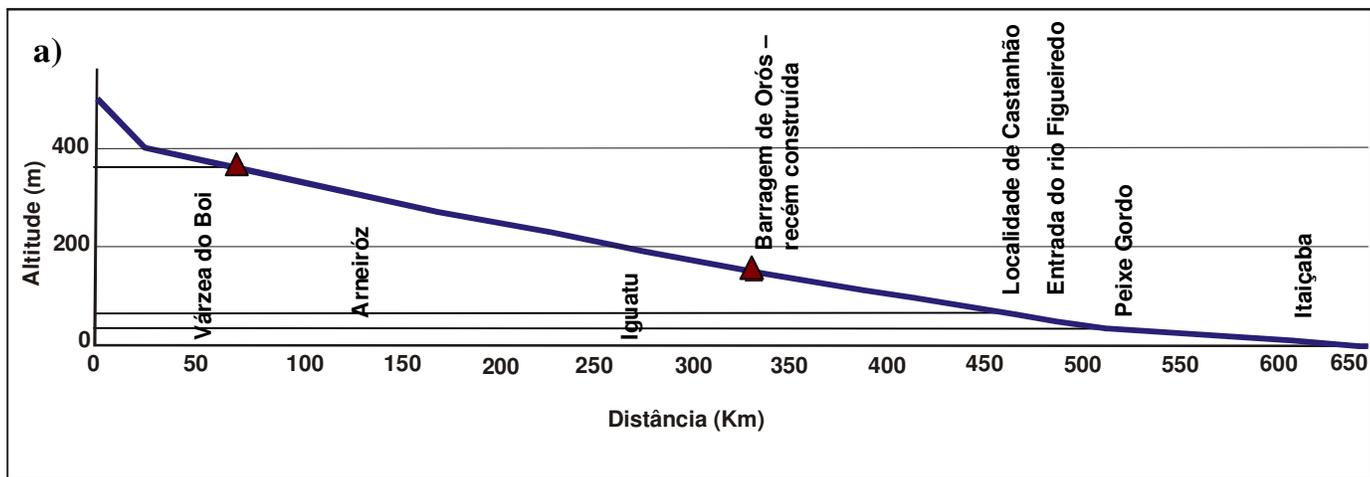


Figura 5 – Perfil longitudinal do rio Jaguaribe. A) 1968. Fonte: BRASIL/ SUDENE-ASMIC, 1967. B) 2009. Fonte: Google Earth, acessado em 25 de maio de 2009.

Pelas figuras 5a e 5b é possível observar que a maior diferença em termos longitudinais é vista na altura da barragem de Orós, cuja construção finalizava-se no final da década de 1960. Cinquenta anos depois observamos um desnivelamento considerável, denotado pela erosão à jusante do barramento conforme é descrito por Mackin (1942), Christofolletti (1981), Cunha (1995), Brandt (2000) e Carvalho (2008).

Outra pequena variação é passível de ser observada na altura da localidade de Castanhão. Entretanto parece ser menos expressiva pelo fato da Barragem do Castanhão ser uma obra recente finalizada em 2002, ou seja, de apenas sete anos.

Embora as barragens provoquem mudanças no perfil longitudinal dos rios, estes irão sempre buscar uma nova condição morfológica de equilíbrio, sendo isto uma questão de tempo. Alguns

pesquisadores têm procurado entender a complexidade do reajuste da morfologia para tentar inferir uma estimativa de tempo para o sistema se reequilibrar. Cunha (1995) ao citar Bruma & Day (1977) diz que nenhuma resposta do canal pode ser observada em menos de cinco (5) anos do represamento e que essas trocas podem perdurar por mais de cinquenta (50) anos.

4.1. Condições Morfológicas e Hidrológicas de Seções Transversais no rio Jaguaribe

O rio representa um canal de escoamento que funciona pelo abastecimento que lhe é fornecido (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.138). Ao longo de seu percurso desenvolve o que é chamado de perfil longitudinal, como já foi citado, e que pode ter características particulares em função da área onde estão situados, tipos de substrato e comprimento, além de fatores de ordem antrópica. No decorrer de um perfil longitudinal são desenvolvidos uma série de perfis transversais que também se diferenciam longitudinalmente em função das características hidráulicas, sedimentológicas e marginais de cada trecho.

A seqüência das seções observadas na tabela 2 mostra o comportamento do canal do rio Jaguaribe de montante para jusante a partir do Castanhão. De modo complementar a figura 6 apresenta os perfis das seções transversais para melhor compreensão.

No trecho A (seção 1) e B (seção 2) é possível observar que o canal permanece com largura menor que 350m, ou seja, até pouco depois da entrada do rio Figueiredo (figura 01), maior afluente da margem direita da área estudada. Na seção denominada São João (3), trecho B, cuja cidade homônima está instalada bem próxima, o canal é alarguecido, apresentando profundidades bastante reduzidas, caracterizando o setor de menor capacidade de canal. Tais características denotam a conservação reduzida de margens e a intensa movimentação de sedimentos dentro do leito maior pelas intervenções desencadeadas com a construção de passagens molhadas e forte tráfego entre comunidades ribeirinhas.

No trecho C observa-se que as seções 5, 6 e 11 são as mais alarguecidas. As seções 5 e 6 representam o início da bifurcação, onde o canal do Jaguaribe se divide dando origem a dois cursos, um mais antigo (5) e outro mais jovem (6), sendo este último também denominado rio Quixeré, o qual atualmente recebe praticamente todo o deflúvio do Castanhão no período de estio. Embora a capacidade do canal na seção 5 seja da ordem de 1.000m^2 , destaca-se nessa área o canal apresentasse com alto grau de assoreamento, denotado pela redução de nível de base e instalação de vegetação de porte médio no leito fluvial.

Tabela 2 – Dados morfológicos e hidrológicos das estações monitoradas entre 2007-2009

Trecho	Decliv. Média (m/km)	Nº de Passagens Molhadas	Seção (1)	Posição (2)	Largura (m)	Prof. Média (m)	Capac. Canal (m ²)	Q _L Média (m ³ /s)	Q _L Máx. (m ³ /s)	C Média (g/m ³)	C Máx (g/m ³)
A	0,36	2	1	2	323,50	4,284	1.385,87	15	800*	5	15
B	0,47	1	2	2	334,87	1,621	542,82	-	-	-	-
			3	3	494,54	0,455	225,02	8	364**	10	16
			4	3	402,40	3,000	1.207,20	16	280**	12	107
C	0,38	5	5	3	450,00	2,256	1.015,55	-	-	-	-
			6	3	368,20	4,229	1.557,12	18	42*	8	95
			7	3	147,49	3,751	553,23	20	80**	14	28
			8	3	194,98	4,061	791,81	27	43*	15	73
			9	3	155,72	3,782	588,93	11	42*	13	68
			10	3	246,00	4,000	984,00	4	14*	10	80
			11	3	404,00	2,917	1.178,47	4	78*	17	73
D	0,20	4	12	3	284,51	5,439	1.547,45	5	37*	32	130

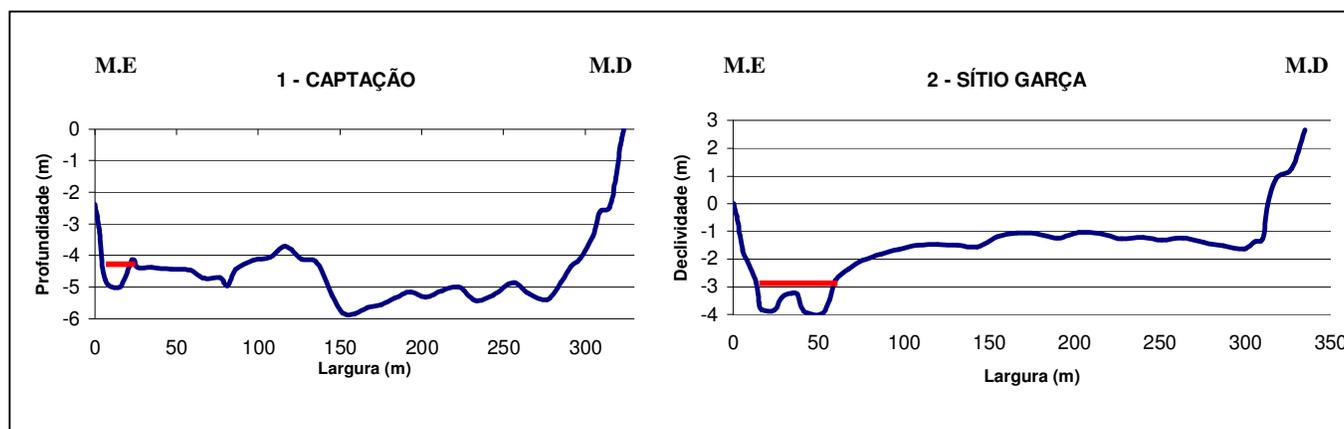
(1) 1-Captação; 2-Sítio Garça; 3-São João; 4-Peixe Gordo; 5-Ponte Limoeiro; 6-Córrego de Areia; 7-Morros; 8-Pedrinhas; 9-Cabeça Preta; 10-Banabuiú; 11-Flores; 12-Jaguaruana.

(2) 1- Alto Curso; 2- Médio Curso; 3- Baixo Curso.

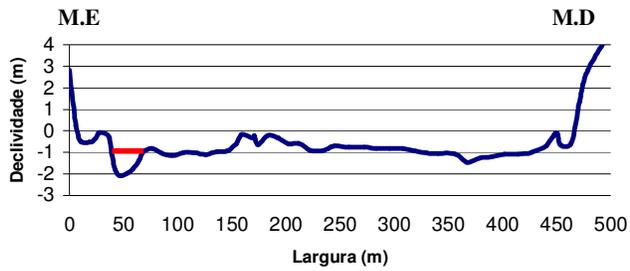
Q_L **média e máx** - dados coletados entre 2007-2009. **C média e máx** – dados de 2009, quadra chuvosa.

* Dados de 2009. Fonte: Autor. ** Dados de 2008. Fonte: Costa (2009)

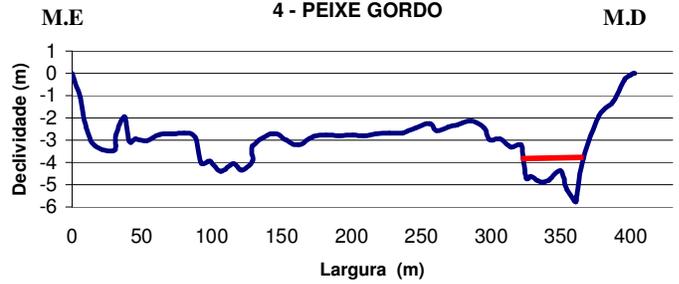
(-) Dados inexistentes.



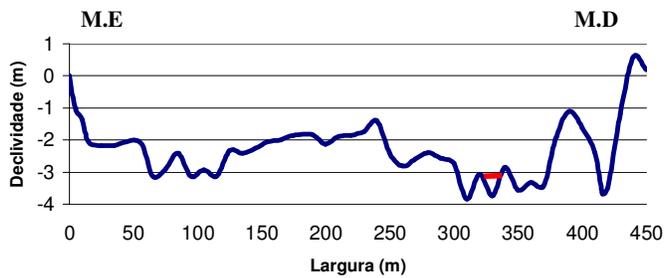
3 - SÃO JOÃO DO JAGUARIBE



4 - PEIXE GORDO



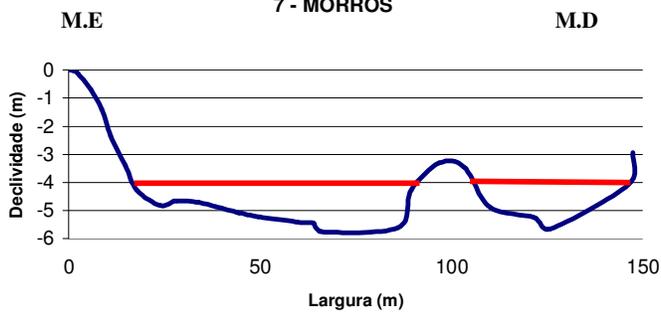
5 - PONTE LIMOEIRO



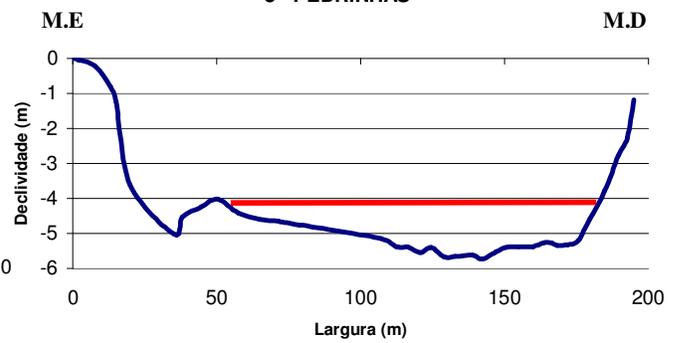
6 - CÓRREGO DE AREIA



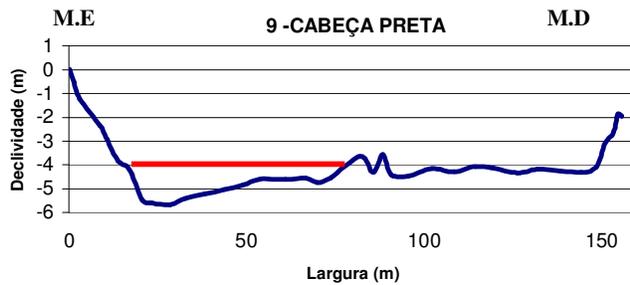
7 - MORROS



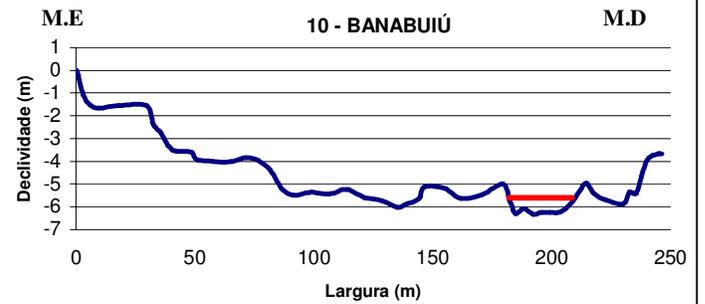
8 - PEDRINHAS



9 - CABEÇA PRETA



10 - BANABUIÚ



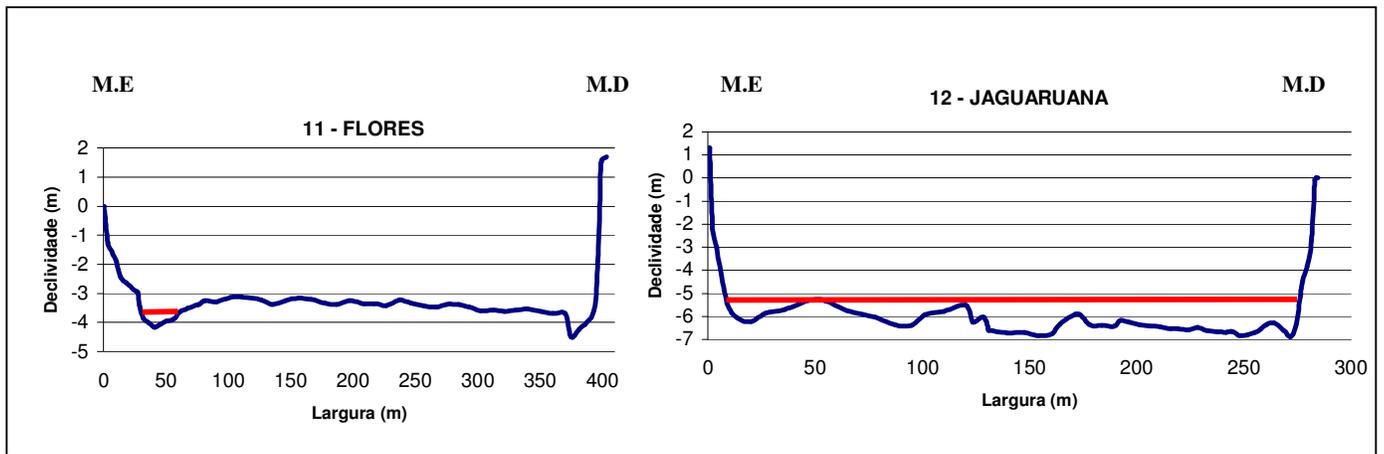


Figura 6 – Perfis das seções transversais referentes às estações de monitoramento apresentadas na tabela 2. A linha vermelha representa o nível da água no período de estiagem. Todos os perfis estão representados da esquerda para a direita no sentido do fluxo do rio. (M.E – margem esquerda/ M.D – margem direita).

A seção 11 é continuidade do canal do Jaguaribe assoreado e localiza-se depois da entrada do segundo afluente expressivo da área, sendo este pela margem esquerda. Trata-se de um canal bem mais antigo, onde os usos são bastante intensos, inclusive com ocupação praticamente dentro do leito fluvial, cujos dejetos domésticos são lançados no próprio rio. Também é uma área de forte tráfego de veículos e pedestres, viabilizado pelo uso de passagens molhadas e pontes durante o período de estio. A intensidade dos usos nessa seção constitui-se uma das causas para a descaracterização de margens e canais alarguecidos, que embora tendo boa capacidade para o padrão encontrado, nas cheias essa capacidade chega a ser atingida com a contribuição do rio Banabuiú. Tal fato seria ainda mais evidente se o canal de montante do Jaguaribe não estivesse com o alto nível de assoreamento em que se encontra.

Observando as seções 7, 8 e 9 percebe-se forte redução na largura do canal, justificada pelo desenvolvimento mais recente e maior nível de conservação de margens, e conseqüente maiores níveis de profundidade (4m).

A seção 10 representa o principal afluente da margem esquerda (rio Banabuiú). Apesar da capacidade do canal ser de apenas 984m², a definição das margens e a profundidade considerável (4m) torna essa seção com maior capacidade de contenção do volume de água, dificultando transbordamento.

Por último a seção 12 (trecho D) apresenta um canal único por onde convergem todas as águas da bacia. Por essa razão, apesar da largura de apenas 284m, sua profundidade média (5,4m) garante a segunda maior capacidade de canal entre todas as analisadas, equiparando-se a seção 6 (córrego de areia), que também possui boa capacidade devido a profundidade média ser elevada. É interessante destacar que a seção 6 está situada à jusante de uma passagem molhada, cujas

características fazem concentrar energia provocando uma queda d'água considerável à jusante, o que torna o fluxo turbulento e com poder de escavação.

Em termos hidrológicos e sedimentológicos as informações contidas na tabela 02 mostram que o regime de regularização do canal proporciona uma média de 15 a 5m³/s de montante para jusante, faixa que varia de acordo com as liberações da barragem do Castanhão. Tais liberações são parte de um planejamento de gestão realizado pela Companhia e Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, que funciona mediante a necessidade dos usos que vão desde a irrigação ao abastecimento humano no Baixo Jaguaribe. Entretanto, foi possível observar que os picos máximos de descarga foram dados não somente por ocasião das precipitações, mas sobretudo, pela necessidade de abertura de comportas da Barragem para fins de segurança.

Este é o caso das vazões máximas observadas nas seções 1, 3, 4 e 7, cujos dados foram coletados em períodos coincidentes ao da abertura de três a quatro comportas do Castanhão. Os demais dados de vazão máxima, embora tendo sido coletados em períodos de chuva já iniciados, mostram valores bem inferiores, enfatizando a influência do açude para o baixo curso.

Com relação aos dados de concentração observa-se que a seção 1 apresentou valores bem inferiores (5g/m³), somente elevando esses valores por ocasião da abertura das comportas. Ressalta-se que esta é a única seção antes da entrada do Figueiredo, rio que contribui com uma grande quantidade de materiais no período chuvoso por ainda não ser regularizado. Nesse aspecto, foi possível observar também a influência do Castanhão na retenção de sedimentos, já que nas seções à jusante da entrada do rio Figueiredo as concentrações tenderam a aumentar com as precipitações, mesmo sem a abertura das comportas da barragem.

5. CONCLUSÕES PRELIMINARES

As observações realizadas em parte da bacia do rio Jaguaribe no Ceará mostram que, especialmente, grandes barramentos mudam as condições morfológicas de jusante, entretanto, levam algum tempo para serem percebidas. Este é o caso das mudanças observadas à jusante do Orós, cujo perfil longitudinal apresenta uma queda dada, possivelmente, pela erosão. À jusante do açude Castanhão as mudanças são menos perceptíveis, haja vista o tempo de construção do mesmo (2002).

Do ponto de vista hidrológico verificou-se que a energia do canal se dissipa à medida que este atinge níveis menores de declividade, conferindo maiores larguras onde o canal é mais antigo e suas margens são mais degradadas.

Por outro lado, o estado de conservação de margens dos canais ajuda na maior concentração de energia, e, portanto de desgaste, levando estes à serem mais profundos e estreitos. Isso pode ser

constatado nos locais onde o rio é mais jovem e onde a conservação das margens é evidenciada como é o caso das seções 7, 8 e 9 do trecho “C” que compõem um braço de rio mais recente. Nesse mesmo trecho (C), o braço de rio oposto, mais antigo, as seções 5, 6 e 11 correspondem aos locais onde o rio atinge larguras maiores.

Do ponto de vista sedimentológico as concentrações de sedimentos observadas ratificam a idéia de que os barramentos tendem a modificar o transporte de sedimentos à jusante. De modo mais evidente no período de estio, observou-se que as concentrações aumentam à medida que se distanciam da barragem do Castanhão, e quanto mais expostas são as margens, maiores são as concentrações.

Os dados de vazão e concentração de sedimentos, associados às características das seções transversais apresentadas neste texto, induzem-nos a afirmar que as maiores alterações do ponto de vista morfológico devem ocorrer em razão da grande amplitude dos picos de descarga deste rio, que tende a mobilizar grande quantidade de sedimentos dentro de sua calha, alterando, de forma sazonal, o posicionamento do canal molhado no leito maior. Tais dados ainda estão sendo comprovados com a realização de novos perfis e análise granulométrica das margens e do leito.

O problema em conhecer melhor o funcionamento dos ambientes fluviais no semi-árido reside justamente na carência de dados pretéritos à implantação das barragens, que se constitui numa prática bastante antiga no nordeste brasileiro devido às necessidades de abastecimento. Como a prática da pesquisa sedimentológica no Brasil é relativamente recente, e como os principais sistemas fluviais de interesse eram os de maior porte, registros dessa natureza também ficaram restritos, sendo de fundamental importância a construção de um banco de dados que possam melhor subsidiar a pesquisa nessas áreas.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio através do Projeto: O Contexto Hidrossedimentológicos no Baixo Vale do Rio Jaguaribe-Ce: implicações para a gestão integrada dos recursos hídricos. Ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO pelo apoio de suas instalações para a realização das análises e de equipamentos e pessoal nos trabalhos de campo.

BIBLIOGRAFIA

BRANDT, S. Anders. (2000). “*Classification of Geomorphological effects downstream of Dams*”. Catena, 40, 375 – 401p.

- BRASIL. MI. SUDENE/ASMIC. (1967). *Estudos de Base do Vale do Jaguaribe*. Recife. Monografia Hidrológica vol. 5. 369p.
- CARVALHO, N.O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª ed., rev., atual. E ampliada. Rio de Janeiro: Interciência. 602p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1981). *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher. 312p.
- COGERH. Companhia e Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. www.cogerh.com.br. Acessado em 14 de agosto de 2008.
- COSTA, C.A. *Marcas da Ocupação do Solo na Dinâmica Fluvial no Médio-Baixo Jaguaribe*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2009.
- CUNHA, Sandra B. (1995). *Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil)*. Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 378 p.
- GREGORY, K.J. & PARK, C. (1974). “Adjustment of River Channel Capacity Downstream From a Reservoir”. *Water Resources Research*, vol. 10, nº 4.
- LAWLER, D.M. Process dominance in bank erosion systems. In: CARLING, P.A., PETTS, G.E. _Eds., *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives*. Wiley, Chichester, 1992, pp. 119–141.
- LEOPOLD, Luna B.; WOLMAN, M.Gordon; MILLER, John P. *Fluvial Processes in Geomorphology*. S. Chand & Company LTD. Ram Nagar, New Delhi-55. 1964.
- KUERTEN, Sidney. *Variação longitudinal das características sedimentares e hidrológicas do Rio Ivaí-Pr em seu curso inferior*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá - UEM. 2006.
- MACKIN, J. Hoover. (1948). “Concept of the Graded River”. *Bulletin of the Geological Society of America*. Vol. 59, pp. 463-512.
- MAGILLIGAN, F.J. & NISLOW, K.H. (2005). “Changes in Hydrologic Regime by Dams”. *Geomorphology*. 71, 61-78.
- SUMMERFIELD, A. Michael. *Global Geomorphology – an introduction to the study of landforms*. Prentice Hall: Endinburgh, England, 1991.