



MAPEAMENTO DE DETALHE EM CANAIS FLUVIAIS. ESTUDO DE CASO NO RIO MACAÉ (RJ)

Raphael Nunes de Souza Lima - Ecologus Engenharia Consultiva LTDA.

Rua do Carmo nº65 4º Andar

Mestre em Geografia – PPGG/UFRJ –

Consultor em Geografia - raphael.lima@globocom.com

Mônica dos Santos Marçal - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Instituto de Geociências - Departamento de Geografia.

Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos – LAGESOLOS -
monicamarcal@gmail.com

RESUMO

Frente aos desafios de avaliar as respostas do sistema de drenagem às interferências antrópicas, o presente trabalho tem como objetivo analisar, a partir de fotografias aéreas e imagens de satélite sub-métricas, mudanças morfológicas em diferentes tipos de canais fluviais ao longo da bacia do rio Macaé, localizada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro. Em virtude do aporte sedimentar e sua capacidade de retrabalhamento, a conectividade e as transformações na geomorfologia fluvial puderam ser percebidas em espaços de tempo curtos, observando-se entre os anos de 2003 e 2007, mudanças de diferentes magnitudes na forma em planta dos canais ao longo da bacia. Em função destas essas mudanças, a capacidade de resiliência do sistema fluvial demonstrou que, do ponto de vista geomorfológico, os canais tem sido capazes de absorver esses impactos, devendo-se ressaltar, no entanto, que tal resiliência não é infinita e cumulativamente, a degradação do meio físico pode comprometer a funcionalidade geomorfológica e ecológica dos rios, bem como a qualidade de vida da população.



ABSTRACT

Facing the challenges of evaluating responses of the drainage system to anthropogenic disturbance, this paper aims to analyze, from aerial photographs and sub-metrics satellite images, morphological changes in different types of river channels within Macae catchment, located in the northern Rio de Janeiro. Based on sediment budget, changes in channel morphology could be assessed in short time periods, observing between the years 2003 and 2007. Adjustments in channels planforms were identified throughout the basin. Based on these changes, the river system resilience has shown that channels have been able to absorb such impacts. However, this resilience is not infinite, as the degradation of the physical environment can compromise the geomorphological functionality and ecological integrity of rivers, and life quality.

1-INTRODUÇÃO

Na literatura científica, tem-se observado um número crescente de pesquisas voltadas ao entendimento das condições naturais dos ambientes físicos e seus ajustes frente às perturbações causadas pelo homem. Esforços neste sentido permitiram à ciência geomorfológica o desenvolvimento de bases conceituais e metodológicas que possibilitam avaliações holísticas da paisagem, ajudando na compreensão da fragilidade dos ambientes, identificação de potenciais de degradação e elaboração de técnicas de manejo que consideram a diversidade e o dinamismo dos sistemas físicos (Gardiner 1991).

Em que pese à velocidade das transformações e dos ajustes geomorfológicos de bacia para bacia, a dinâmica fluvial resultante de diferentes compartimentos da paisagem podem servir como ferramenta de avaliação da sensibilidade do sistema de drenagem (Fryirs et al., 2007). Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar, a partir de fotografias aéreas e imagens de satélite sub-métricas, mudanças morfológicas em diferentes tipos de canais fluviais ao longo da bacia do rio Macaé, localizada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro (figura 1).

O ritmo acelerado das transformações sócio-ambientais ocorridas na área de estudo desde a década de 1960 transformou-a em um cenário dinâmico e campo fértil para o desenvolvimento de estudos que avaliem as variações temporais e espaciais, bem como a



multiplicidade de processos gerados a partir das atividades que a sociedade exerce na paisagem.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de integrar as informações necessárias para avaliar a dinâmica morfológica atual do rio Macaé e seus possíveis ajustes frente às transformações do uso do solo, a presente metodologia baseou-se na análise dos processos fluviais, tendo como principal parâmetro analisado a forma em planta do canal.

A perspectiva em planta do canal é definida, portanto, como a tomada aérea do rio, formando um ângulo de 90° entre o observador e o canal. Essa técnica de observação geralmente utiliza fotografias aéreas ou imagens de satélite em escala que permita o mapeamento das feições fluviais. Segundo Kellerhals *et al* (1976), a forma em planta do canal é resultado da combinação do tipo de carga dendrítica e pela descarga fluvial.

O objetivo do mapeamento foi identificar as feições geomorfológicas que ocorrem ao longo do curso do rio Macaé sendo mapeadas e interpretadas segundo caracterização proposta por Kellerhals *et al.* (1976) e Brierley & Fryirs (2005).

Para o mapeamento da forma em planta, foram utilizadas imagens obtidas através do programa Google Earth™, em escala aproximada 1:10.000, correspondentes ao satélite QuickBird, e obtidas de forma gratuita pelo programa mencionado. Apesar de não permitirem métodos quantitativos, em função da impossibilidade de georeferenciamento com precisão cartográfica compatível com a escala de análise, optou-se pela sua utilização em função da excelente resolução, do custo nulo na obtenção das cenas, e principalmente por proporcionar a



avaliação de 6 períodos diferentes, sendo eles: 03/06/2003; 14/08/2003; 09/10/2004; 01/08/2005; 22/07/2006 e 08/03/2007.

A série de imagens em diferentes períodos proporcionou uma análise temporal da dinâmica fluvial, permitindo avaliar o deslocamento dos sedimentos ao longo do tempo, e identificar tendências no regime hidrológico. O processamento das imagens foi realizado através do software ArcGis 9.3.1, onde foram mapeadas a área molhada, as feições no canal e as feições na planície, sendo apresentados e discutidos através de croquis esquemáticos.

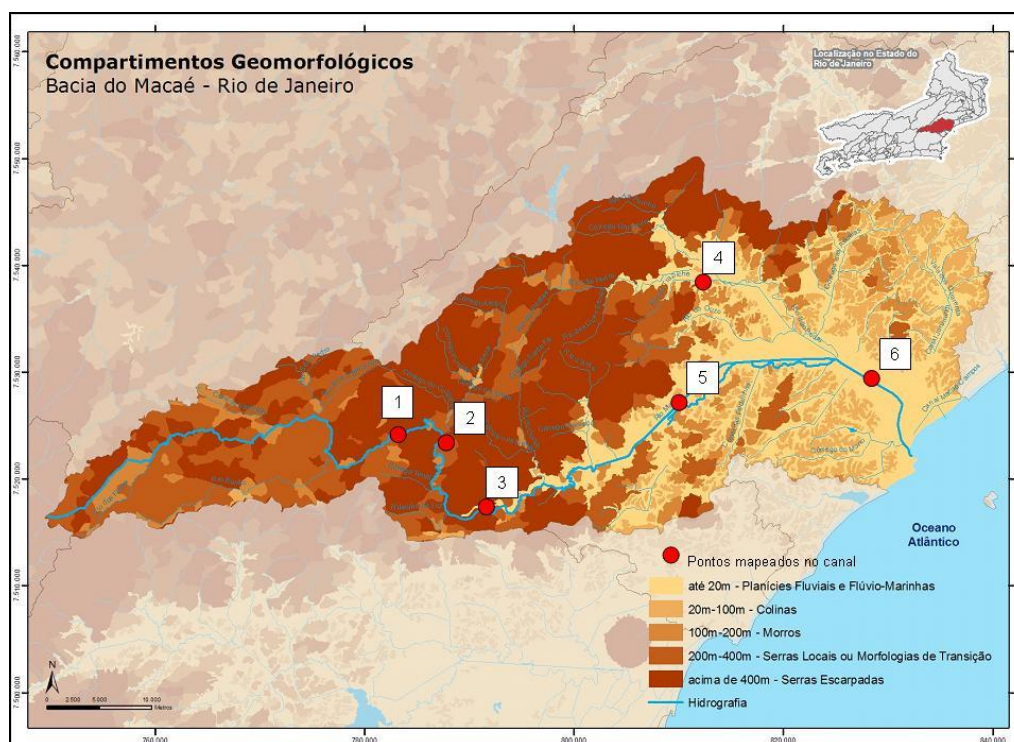


Figura 1: Mapa de Compartimentação Geomorfológica da bacia do rio Macaé e localizações das áreas mapeadas. Fonte: Silva 2002

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma e o comportamento do rio são atributos dialéticos, intimamente relacionados, de maneira que a forma do rio se configura em função de um determinado comportamento hidráulico e vice versa. Desse modo, as feições identificadas retratam a natureza dos processos atuantes ao longo dos trechos mapeados, permitindo a interpretação dos elementos preponderantes para o estabelecimento de padrões do fluxo, e dinâmica erosiva/deposicional.



Através da interpretação dos mapeamentos de detalhe, foram observados processos diferenciados na forma de deposição e transporte do rio Macaé representado pela variação de feições identificadas em diferentes ambientes. Em cada ambiente foi possível acompanhar, ainda, os ajustes das feições fluviais ao longo de 3 anos, resultantes da variabilidade e sazonalidade do regime hidrológico.

Ao longo do rio Macaé foram indentificados nove tipos de feições geomorfológicas, desenvolvidas tanto na margem do rio quanto dentro do leito, sendo elas: soleiras (*riffle*), depressões (*pool*), barras transversas, ilhas fluviais, barras de expansão, barras centrais, barras laterais, cordões marginais convexos e retificação. O mapeamento destas feições e o comportamento associado são localizados na figura 1 e sumarizados a seguir:

3.1 - Soleiras (*riffle*) e Depressões (*pool*) – PONTO 1

Formam-se em ambientes com vales confinados e escarpados, apresentando sinuosidade moderada, controlada pelo embasamento das vertentes. Estas duas feições se intercalam ao longo do rio, estando associadas à áreas de acumulação de sedimentos grosseiros que elevam a rugosidade e a turbulência do fluxo, induzindo localmente o aumento da declividade. As áreas de depressões que se sucedem, possuem uma rugosidade baixa, profundidade relativamente maior o que permite a desaceleração do fluxo e relaxamento com relação à turbulência.

Observou-se através da análise temporal das imagens que essas feições são altamente estáveis, sofrendo alterações imperceptíveis na escala temporal e espacial utilizada. Ressalta-se que esses ambientes possuem elevado poder de transporte de sedimentos, sendo potencializado em função da declividade do perfil longitudinal e do confinamento das vertentes do vale.

Na sequência de imagens, é possível observar a mobilização de um grande volume de sedimentos oriundos de um movimento de massa ocorrido na vertente adjacente ao rio Macaé (figura 2 A e B). Verifica-se na figura 2-A um processo de recuperação de um evento de movimento de massa, que potencializado pela ausência de cobertura vegetal e pelo corte da estrada que beira o rio, culmina na figura 2-B, em um novo deslizamento, lançando novamente para dentro do rio um grande volume de sedimentos.



Verifica-se na figura 2-B, uma pequena barra arenosa remanescente na margem oposta à cicatriz, indicando que a feição não teve tempo de ser retrabalhada em função da carga produzida, podendo-se inferir que mesmo o rio tendo grande energia, sua resiliência não é ilimitada.



Figura 2: Processos erosivos na encosta conectado ao sistema de drenagem – A) 03/06/2003
C) 22/05/2006. Fonte: Google earth.

3.2- Ilhas e Barras – PONTO 2



Ocorrem em ambientes parcialmente confinados, com elevada sinuosidade em função da forma e orientação do vale. As curvaturas formadas funcionam como amortecimento do fluxo, sendo um dos elementos que concorrem para o desenvolvimento dessas feições.

As ilhas mapeadas representam barras localizadas no meio do canal, compostas por carga mista de blocos, seixos, areia grossa e areia fina estabilizadas pela vegetação. Sua forma é alongada na direção do fluxo, traduzindo uma feição estável com alta capacidade de reter os sedimentos.

Desse modo, as ilhas formadas nesses ambientes retratam um processo histórico de sedimentação onde blocos aglomerados durante um período de elevada competência serviram de substrato para sedimentação posterior. Localizam-se em ambientes com altíssima energia durante eventos de cheias normais, o que ocasiona a submersão das ilhas, afetando a vegetação sobre ela, causando nesses períodos erosão das ilhas e conseqüente retração, como pode ser observado na seqüência temporal representada pela figura 3.



Figura 3: Dinâmica morfológicas de ilhas fluviais após a confluência com o rio sana. A) 03/05/2003; B) 22/07/2006. fonte: Google earth.



3.3- Barras Laterais e Centrais – PONTO 3

As barras laterais ocorrem em canais com baixa sinuosidade e carga arenosa elevada. Essas feições se desenvolvem em lados alternados do canal, apresentando geralmente forma alongada, geradas em decorrência do percurso sinuoso do fluxo que comumente ocorre em canais com baixa declividade e segmentos retilíneos. As barras migram para jusante à medida que ocorrem as sucessões de entrada de energia (Figura 4).

Já as barras Centrais (longitudinais) correspondem à depósitos de centro de canal, alongados, compostos por areias finas e grossas, sendo que as mais grosseiras estabilizam-se no início da barra. Diferenciam-se das ilhas pela ausência de vegetação e alta instabilidade desses depósitos (figura 4).

Esse ambiente se desenvolve logo após a abertura do vale do rio Macaé, marcando o início do seu baixo curso e da dissipação da energia que chega dos vales confinados à montante. Na figura 4B, observa-se o retrabalhamento dessas feições e o seu transporte para jusante, em dois períodos diferentes (03/06/2003; e 22/07/2006). demonstrando competência do canal em retrabalhá-los em eventos de cheia regular.





Figura 4: Dinâmica morfológica de barras centrais e barras laterais. A) 3/05/2003;

B) 22/07/2006. fonte: google earth.

3.4 - Cordões Marginais Convexos e Depósitos Laminares Arenosos – PONTO 4

São porções arenosas em forma de arco localizadas na margem convexa dos rios, geralmente sem presença de vegetação. Resultam da alteração lateral na forma do canal, com deposição na margem convexa e erosão na margem côncava. A carga de fundo (areia e cascalho) é movida por tração em direção à margem convexa por fluxo helicoidal.

Verificou-se ainda nesse trecho, a ocorrência de barras laminares arenosas, que correspondem à feições com sedimentos relativamente homogêneos submersos, que ocupam grande parte do leito do rio. São formados quando a capacidade de transporte do canal é excedida ou quando a competência diminui, ocorrendo acumulação dos sedimentos que não chegam a emergir. Geralmente reflete a capacidade limite de transporte devido ao grande fornecimento de sedimentos para o canal, sendo frequentemente transferidos durante o fluxo de cheias.

Essas feições são formadas em ambientes com vales abertos e substrato arenoso, que é o caso das planícies fluvio lagunares desenvolvidas no baixo curso do rio. O canal ajusta-se lateralmente através da erosão das margens, permitindo a formação de meandros irregulares e curtos.

Como pode ser observado na figura 5, os depósitos arenosos se retraem, crescem e migram para jusante, refletindo o caráter sazonal do regime hidrológico operado pelo rio Macaé. A figura permite avaliar, ainda, a dinâmica do rio em regime de energia baixa, e elevada, referentes aos períodos de 14/08/2003, e 01/05/2007 respectivamente. Durante o período com maior energia, houve alargamento da calha fluvial decorrente da intensa erosão das margens, que ao longo de praticamente todo o baixo curso não possuem cobertura ciliar (figura 5-B).

A figura 5 refere-se ao canal do rio São Pedro, próximo à retificação da sua calha. Nesse trecho verificou-se uma mudança pronunciada na calha do rio, entre Agosto de 2003 e Maio de 2007. Houve alargamento da calha, remoção dos sedimentos depositados no leito do



rio e formação de barras laterais. Verifica-se ainda a formação de meandros abandonados formados pela migração lateral do rio.

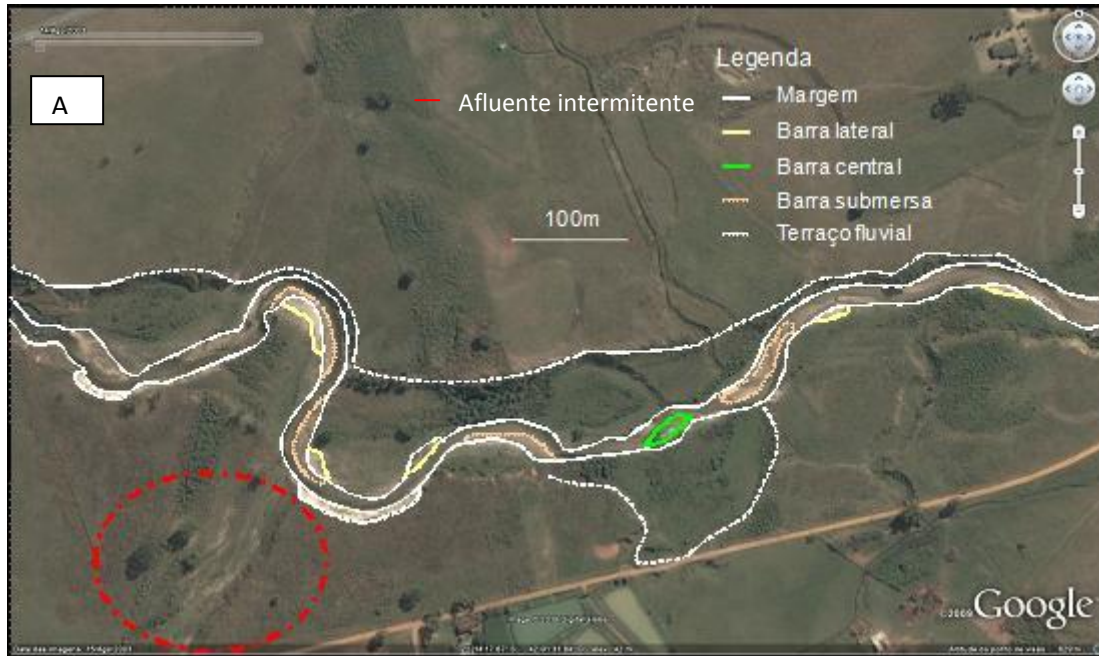


Figura 5: Ajuste lateral do rio são pedro através da erosão e desbarrancamento das margens côncavas. A) 14/08/2003; B) 01/05/2007. fonte: google earth



3.5 – Retificação – PONTOS 5 E 6

No Brasil, os projetos de construção de redes de Macro-drenagem, tiveram início na década de 1960, perdurando até meados de 1990. À época, o extinto DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) realizou obras de retificação e alargamento da calha de rios com o objetivo de diminuir a área inundada durante as cheias, acabando com alagadiços e brejos que poderiam servir como vetores de transmissão da malária e febre amarela, promovendo assim, condições mais propícias à colonização e desenvolvimento da agropecuária nessas áreas.

As obras de retificação transformaram completamente o traçado natural do rio Macaé e, subseqüentemente, as feições fluviais que outrora ocorriam, restando nos canais retilíneos pouquíssimos obstáculos ao fluxo d'água. A homogeneidade da calha em grande parte desse trecho não permitem a ocorrência de feições deposicionais, como pode ser visualizado nas figuras 6 e 7.

Através da forma em planta do canal, foi possível diferenciar dois tipos de comportamento do setor retificado antes e após a confluência com o rio São Pedro. No primeiro segmento da retificação, o fluxo é caracterizado por uma sinuosidade do talvegue percebida através da formação de barras laterais submersas. As margens desprovidas de mata ciliar também apresentaram processos erosivos durante regimes de alta energia, como pode ser visto na 6-A e 6-B. No entanto esse segmento apresenta um padrão de baixa energia, quando comparada ao segundo segmento.

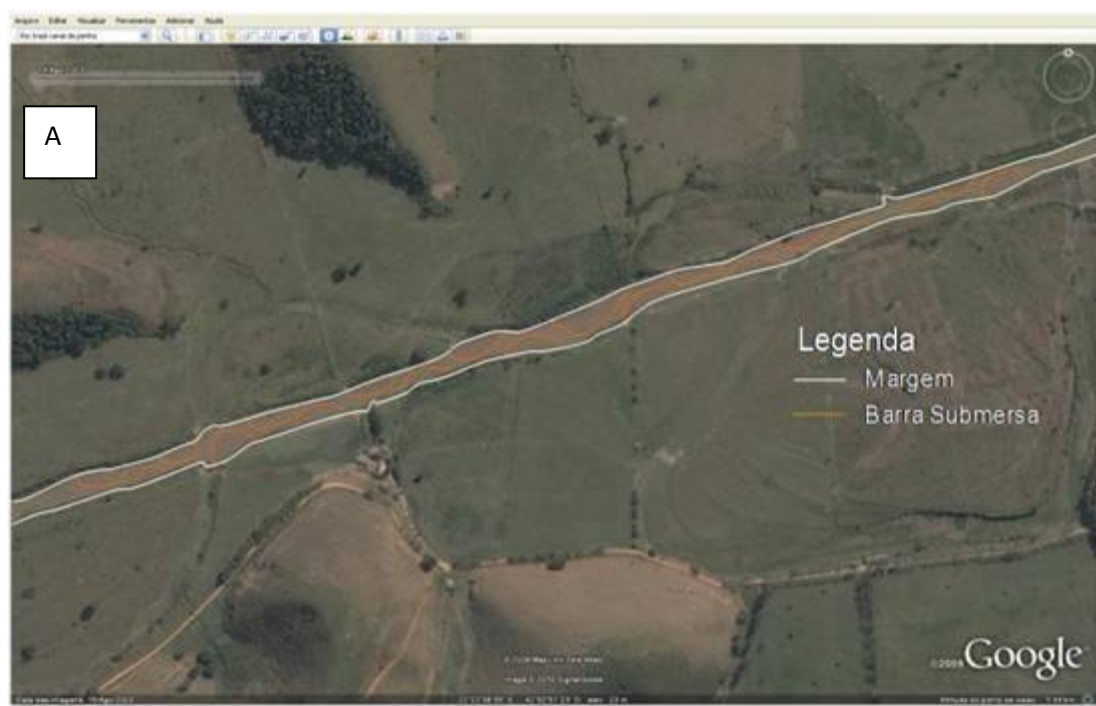


Figura 6 -A: Barras submersas no trecho retificado do rio macaé. A) 14/08/2003

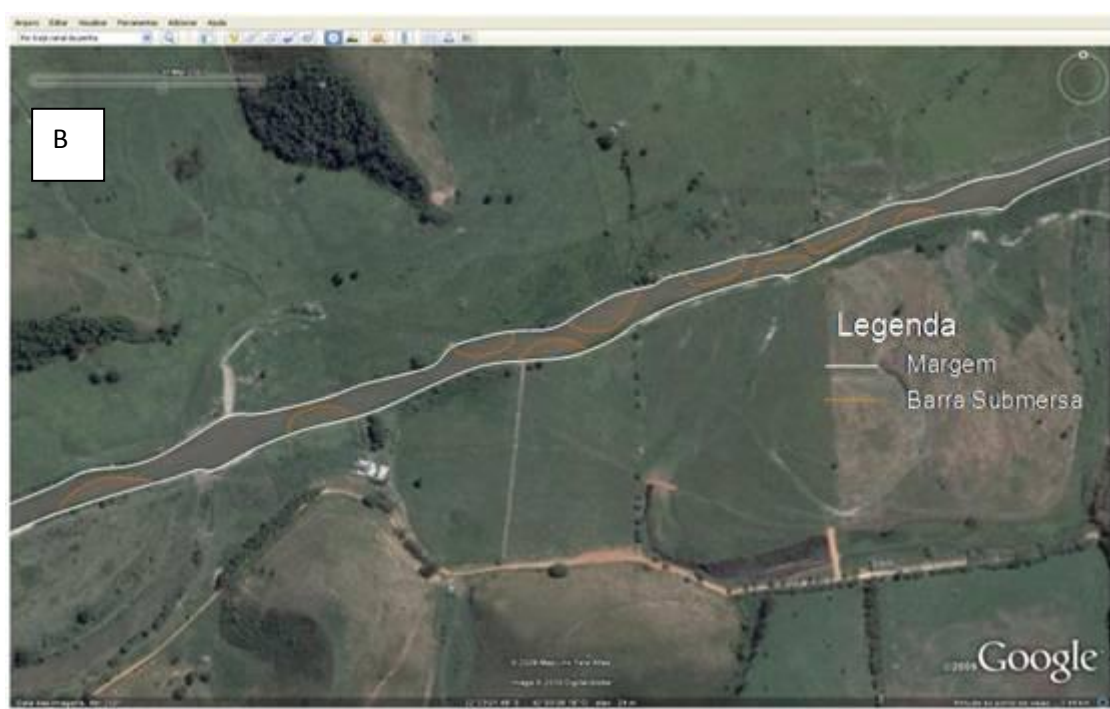


Figura 6 -B: Barras submersas no trecho retificado do rio macaé. B) 03/03/2007. fonte: google earth.



Após a confluência com o rio São Pedro, o canal retificado aumenta de largura e de capacidade de transporte, que associada aos sedimentos grosseiros que compõem o leito propiciam um processo erosivo das margens de maneira mais intensa. Esse poder de transporte do rio Macaé nesse trecho é evidenciado pela Figura, onde é possível verificar a remoção de três barras centrais que haviam sido fixadas por vegetação em 10/04/2003/03. Em março de 2007, nota-se apenas algumas feições remanescentes desse trabalho fluvial.

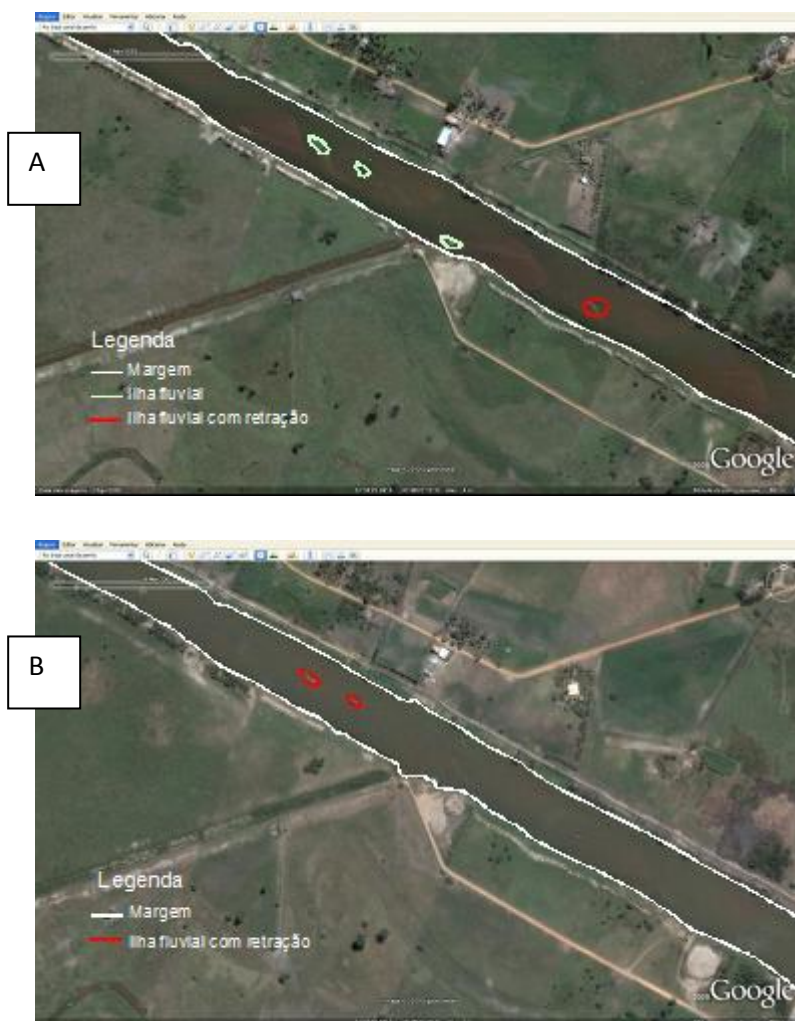


Figura 7: Retração de ilha fluvial no trecho retificado do rio macaé. A) 10/04/2003; B) 08/03/2007. fonte: google earth.



4 – DISCUSSÃO

Em virtude do aporte sedimentar e sua capacidade de retrabalhamento, a conectividade e as transformações na geomorfologia fluvial puderam ser percebidas em espaços de tempo curtos, observando-se entre os anos de 2003 e 2007, mudanças de diferentes magnitudes na forma em planta dos canais ao longo da bacia. A partir dos dados analisados, ressalta-se que as modificações ocorridas no canal do rio Macaé não podem ser diretamente atribuídas às transformações no uso e ocupação da terra, uma vez que os ajustes observados fazem parte de um comportamento natural, verificado em bacias com componentes fisiográficos semelhantes (Thomas, 2000; Vanacker et al. 2005).

Considerando, no entanto, as tendências de mudanças do uso e ocupação da terra e aumento da pressão sobre fragmentos florestais na bacia, salienta-se que a descrição dos processos de movimentação dos sedimentos, contribuíram para exercícios de avaliação e predição da trajetória de ajustes geomorfológicos frente à cenários de intensificação dos distúrbios no sistema. Deste modo, é possível indicar locais ou zonas mais sensíveis onde as mudanças no comportamento poderão ser observadas mais rapidamente no rio, em resposta à nova condição de aporte de sedimentos

A conectividade no sistema encosta-calha, condicionado pelo confinamento das vertentes, faz com que grande parte dos sedimentos produzidos alcance o canal coletor e sejam incorporados à drenagem.

Segundo Fryirs et al (2007), ambientes com elevado grau de conectividade, tendem a propagar os efeitos dos impactos, sendo absorvidos em regiões mais sensíveis, com menor conectividade, onde os ajustes à nova condição do sistema começam a ser verificados mais rapidamente.

A partir destas ponderações e com base nos parâmetros analisados nesta pesquisa, supõe-se que em um cenário de intensificação dos processos erosivos no alto curso da bacia, os primeiros tipos de canais a sofrerem ajustes sejam os meandantes, localizados na base da escarpa. Neste trecho onde o gradiente é suave e o vale parcialmente confinado, ocorre uma ruptura no padrão de transporte de sedimentos, sendo verificada a diminuição na velocidade



de transferência. Durante os períodos secos, de Maio à Outubro, esse trecho apresenta grande quantidade de depósitos arenosos, que indicam que os rios à montante continuam a transferir sedimentos, mesmo após a capacidade deste segmento ter sido superada

5- CONCLUSÃO

1- Ressalta-se que a utilização do programa Google Earth TM foi uma excelente alternativa para o mapeamento da forma em planta do canal ao permitir acesso fácil e gratuito à imagens de alta resolução e em períodos diferentes, o que possibilitou a análise temporal dos rios. Através da interpretação das imagens, foram identificadas diversas transformações na paisagem, operadas entre os 6 anos de análise que compreenderam o estudo. A limitação dessa ferramenta ainda está na dificuldade transpor as imagens para outros SIGs, como o ArcGis, de modo que estudos quantitativos ainda não puderam ser realizados utilizando-se essas imagens.

2- Levando-se em consideração a complexidade dos sistemas hídricos, ressalta-se que outros tipos de ajustes podem ocorrer. A precisão deste prognóstico depende de mais verificações específicas nos canais, que permitam maior detalhamento sobre a dinâmica desses sistemas. Frente à essas mudanças, a capacidade de resiliência do sistema fluvial demonstrou que, do ponto de vista geomorfológico, os canais tem sido capazes de absorver esses impactos, devendo-se ressaltar, no entanto, que tal resiliência não é infinita e cumulativamente, a degradação do meio físico pode comprometer a funcionalidade geomorfológica e ecológica dos rios, bem como a qualidade de vida da população.

6- AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de financiamento de pesquisas referentes à Bacia do Rio Macaé.



6- REFERÊNCIAS

- BRIERLEY, G.J. & FRYIRS, K.A. (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 398 pp.
- FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J.; PRESTON, N.J.; KASAI, M. (2007) Buffers barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. *Catena* 70 pp.49-67.
- GARDINER J.L. (1991) *River Projects and Conservation: a Manual for Holistic Appraisal*, Wiley, Chichester.
- KELLERHALS, R., CHURCH, M., BRAY, D.I. (1976). Classification and Analysis of river processes. *Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, 102: 813-829.
- SILVA, T.M. (2002). *A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 265p. (Tese de Doutorado, Depto. Geografia/IGEO-UFRJ).
- THOMAS, M.F., (2000). Landscape sensitivity in time and space. *Catena* 42, 83–99.
- VANACKER, V; MOLINA, A; GOVERS, G; POESEN, J; DERCON, G; DECKERS, S. (2005) River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. *Geomorphology* 72 pp. 340– 353