

HIDROSSEDIMENTOLOGIA E CONECTIVIDADE DO RIO MACAÉ, NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

HIDRO-SEDIMENTOLOGY AND CONNECTIVITY OF THE MACAÉ RIVER, NORTH OF RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL

Pilar Amadeu de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, amadeupilar@gmail.com

Mônica dos Santos Marçal

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, monicamarcal@gmail.com

RESUMO

A conectividade da paisagem é definida pela transferência de matéria e energia entre diferentes compartimentos de um sistema ambiental e pode ser analisada através de abordagens hidrossedimentológicas. O trabalho foi desenvolvido no rio Macaé, localizado ao norte do estado do Rio de Janeiro com o objetivo de apresentar, em análise espacial e temporal definida, as características hidrossedimentológicas e estabelecer padrões de conectividade longitudinal entre os ambientes fluviais. A identificação destes padrões foi baseada em análises hidrológicas (vazão e chuva) no período de 2000 a 2013, sedimentológicas (cargas de fundo e em suspensão) e geomorfológicas (morfometria e mapeamento multitemporal de feições geomórficas dentro do rio). Quatro trechos fluviais foram identificados (I, II, III e IV) com diferentes padrões de conectividades longitudinais, no que diz respeito à transferência de sedimentos: conectado, potencialmente conectado e parcialmente conectado. Os trechos fluviais II e III (médio curso do rio) apresentaram maior retenção de sedimentos, com desenvolvimento de formas deposicionais dentro do rio. Para o período analisado, o rio Macaé apresentou diferentes respostas na variação de seu comportamento, mas sem comprometer de forma acentuada a dinâmica de transporte dos sedimentos e do fluxo ao longo do rio, podendo considerar um rio que apresenta boa conectividade entre seus subambientes.

Palavras-chave: Hidrossedimentologia; Conectividade da paisagem; Conectividade Longitudinal; Padrões de Conectividade; Rio Macaé.

ABSTRACT

Landscape connectivity is defined by the transfer of material and energy between different compartments of an environmental system and it can be analyzed by hidro-sedimentology approaches. The study was conducted in the Macaé River, located in the north of Rio de Janeiro State, in order to present the hidro-sedimentology characteristics and establish longitudinal patterns of connectivity among river environments, considering defined spatial and temporal analysis. The identification of these patterns was based on hydrological analysis (water flow and rain) from 2000 to 2013, sedimentological analysis (background loads and suspension) and geomorphological (morphometry and multi-temporal mapping of geomorphic features within the channel). Four river sections were identified (I, II, III and IV) with different patterns of longitudinal connectivity, in relation to the transfer of sediments: connected, partially connected and potentially connected. The river sections II and III (middle course of the river) showed better retention of sediments, with development of depositional forms within the channel. For the analyzed period, the Macaé River showed different responses in the range of their behavior, but without markedly compromising the dynamic transport and flow of sediments along the channel, considering this channel with a good connectivity among its sub-environments.

Keywords: Hidro-sedimentology; Landscape Connectivity; Longitudinal Connectivity; Connectivity Standards; Macaé River.

Artigo recebido para publicação em maio de 2015

Artigo aceito para publicação em setembro de 2015

INTRODUÇÃO

Os diferentes comportamentos existentes dentro de uma paisagem estão diretamente associados ao tipo de interação que os seus ambientes possuem entre si. Entender a funcionalidade e a capacidade de resposta de cada setor da paisagem às mudanças a ele impostas, remete à compreensão de conceitos relacionados com as relações entre seus componentes e a conectividade entre eles, assim como também implica no entendimento dos (des) ajustes internos (BRUNSDEN & THORNES, 1979; SCHUMM, 1981; HARVEY, 2001; THOMAS, 2001; HOOKE, 2003; BRIERLEY et al., 2006; FRYIRS et al., 2007).

A propagação de instabilidades em um sistema ocorre por processos de feedbacks e tendem a modificar o equilíbrio do mesmo. Os novos ajustes desencadeiam novas ligações e, conseqüentemente, novos tipos de relações de conectividade. Tal conceito, também chamado de acoplamento, foi introduzido na Geomorfologia por BrunSDen & Thornes (1979), com ênfase no entendimento no funcionamento integrado de sistemas fluviais.

Segundo Hooke (2003), conectividade pode ser entendida como a capacidade de transferência de matéria e energia dentre e entre setores geomorfológicos. Seja de forma estrutural, com transferência pelo contato físico de compartimentos, como de forma funcional, intra (dentro) e entre (no meio de) compartimentos.

Outros autores (BRIERLEY et al., 2006; FRYIRS et al., 2007) consideram que a conectividade entre ambientes tende a variar temporalmente com processos de diferentes magnitudes e frequências, como também espacialmente. Para Fryirs et al. (2007), a conectividade da paisagem pode abranger três tipos de dimensões alinhadas a diferentes hierarquias de estudo: a dimensão Longitudinal, na escala de detalhe, onde envolve relações de sedimentos no âmbito da rede de canais (dentro do próprio rio e/ou os tributários com o rio principal); a dimensão Lateral ou Transversal, na escala zonal, com relações entre compartimentos (encosta-canal e planície de inundação-canal); e a dimensão Vertical, em escala regional, com relação de trocas químicas, biológicas e hidrológicas entre ambientes sub e superficiais em uma bacia hidrográfica.

Além disso, a circulação de energia e matéria em um sistema fluvial depende principalmente dos chamados “interruptores”. São feições que podem possibilitar e/ou embarrear processos de distribuição de sedimentos, seja de forma natural e/ou antrópica. Os de origem natural compreendem, por exemplo, feições geomorfológicas, níveis de base locais, deslizamentos, entre outros. E os de origem antrópica, podem ocorrer tanto de forma indireta (mau uso da terra), como de forma direta (obras de engenharia como retificações e barreiras artificiais) ao canal fluvial (BRUNSDEN, 2001; THOMAS, 2001).

Dentro dessa perspectiva, uma das formas de investigação dos tipos de (des) conectividades na paisagem, vem sendo realizada através de abordagens geomorfológicas ligadas à hidrossedimentologia, ou seja, a compreensão do comportamento hidrológico (vazão e pluviosidade) e sedimentológico (tipos de escoamento e de carga sedimentar) de um canal fluvial. Este tipo de investigação permite uma melhor compreensão dos processos atuantes nas bacias hidrográficas, das suas dinâmicas ambientais e da evolução do sistema fluvial, como um todo (HARVEY, 2001; HOOKE, 2003; BRIERLEY et al., 2006; FRYIRS et al., 2007).

Ressalta-se que muitos trabalhos sobre conectividade em bacias hidrográficas vêm sendo abordados em pesquisas internacionais (HOOKE, 2003, BRIERLEY et al., 2006; FRYIRS et al., 2007), como também, vem aparecendo de maneira crescente no Brasil (HILU, 2003; FEBA et al., 2006; BARROS et al., 2010; LIMA & MARÇAL, 2014).

É um tema importante e atual, em função do aumento da preocupação com as condições naturais dos ambientes físicos e seus ajustes frente às perturbações causadas pelo homem. Além disso, vem se mostrando de fundamental importância para as ciências ambientais, à medida que contribui para a avaliação de respostas em diferentes partes de um canal fluvial, frente à intensificação de distúrbios internos. Isto é, dependendo do grau de conectividade existente entre os ambientes fluviais, a propagação dos efeitos dos impactos pode ser maior ou menor, gerando ajustes a jusante, com diferentes intervalos de tempo.

Dessa maneira, o estudo da conectividade pode atuar como um indicador de possíveis (des) ajustes internos de sistemas, além de auxiliar na previsão de comportamentos e na elaboração de metodologias sustentáveis voltadas à preservação, planejamento e gestão de sistemas ambientais.

As bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro vêm apresentando problemas ambientais recorrentes, devido à sobrecarga de intervenções oriundas de grande parte das atividades da sociedade. Consequências como aumento da produção de sedimentos nas redes de drenagem devido a processos erosivos em encostas e matas ciliares vêm gerando efeitos negativos à qualidade de água, morfologia dos canais e, também, estabilidade dos rios, tendendo a causar desequilíbrios à dinâmica de circulação de matéria em todo o sistema fluvial.

O trabalho apresentado foi desenvolvido na Bacia do rio Macaé localizada no estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de analisar, espacial e temporalmente, as características hidrossedimentológicas do rio Macaé e estabelecer padrões de conectividade longitudinal entre os ambientes fluviais identificados. Quer dizer, a partir do comportamento hidrossedimentológico buscou-se avaliar a eficiência do sistema hidrológico em receber e transportar sua carga sedimentar, ao longo do rio e, com isso, estabelecer padrões de conectividades (entre e intra) ambientes fluviais.

Área de estudo

A Bacia do rio Macaé está localizada no Norte do Estado do Rio de Janeiro possui cerca de 1.800 km² e seu rio principal drena a escarpa litorânea da Serra do Mar no sentido oeste-leste percorrendo cerca de 140 quilômetros até desaguar no oceano Atlântico, próximo à cidade de Macaé (figura 1).

O contexto climático é caracterizado segundo Köppen, pelo Clima Tropical Úmido (Ao) e pelo Clima Tropical de Altitude (Aw). O primeiro abrange grande parte do litoral brasileiro, sendo mais influente na área do baixo curso da bacia. É caracterizado por chuvas intensas no verão e no outono, com temperaturas médias anuais acima de 18 °C e inverno seco. Já o segundo, abrange a maior parte da região serrana, incluindo o alto curso da bacia, em função da presença da Serra do Mar. É caracterizado

por elevada e irregular precipitação, na medida em que o relevo condiciona a ocorrência de chuvas convectivas, apresentando médias de 1.500 e 2.000 mm/ano.

Segundo Nascimento (2010), a combinação desses dois tipos de clima implica em chuvas bem marcadas para toda a área da Bacia Macaé, com dois regimes pluviais: o período de inverno marcado por épocas menos chuvosas e o período de verão caracterizado pelas maiores médias pluviométricas.

No contexto geológico, o rio Macaé atravessa grandes lineamentos e fraturamentos do Estado do Rio de Janeiro com direção E-NE, inseridos no contexto geológico da Serra do Mar. A região da bacia é composta em grande parte por rochas do tipo metamórfica e ígneas, de idade Cambriana (TUPINAMBÁ, 2009; ALMEIDA, 2012). Já em menor extensão, o rio percorre rochas sedimentares relacionadas ao Grupo Barreiras de idade Plio-Pleistoceno e sedimentos quaternários que ocorrem de forma expressiva nas planícies fluviais do rio Macaé (COSTA et al., 1982; MORAIS, 2007). O arcabouço geológico condiciona o forte controle estrutural presente, principalmente nas áreas centrais da bacia, com inúmeros afloramentos rochosos, vales estreitos e inúmeras quebras ao longo do desenvolvimento do rio, assim como, a compartimentação geomorfológica. As áreas de ruptura, também chamadas de nick-ponts, propiciam a formação de áreas de retenção de sedimentos em forma de alvéolo em vales abertos, podendo ser considerados como um impedimento natural a transferência de sedimentos a jusante (MARÇAL, 2013).

Na compartimentação geomorfológica se destacam cinco principais formas, de montante a jusante: Morfologias de Transição e Escarpas Serranas (acima de 200 metros), Colinas e Morros (20 a 200 metros) e Planícies Fluviais (até 20 metros) (SILVA, 2002). Vale ressaltar que a configuração espacial destes compartimentos permite a ocorrência de diferentes feições fluviais e determinam os padrões de comportamento e circulação de matéria em cada parte do rio.

A retificação dos canais nas áreas das planícies de inundação do rio Macaé realizadas entre os anos de 1930 e 1980 representa uma das intervenções mais importantes na dinâmica dos processos geomorfológicos do sistema fluvial da bacia (ASSUMPÇÃO & MARÇAL, 2012). Além destas

intervenções, tem-se ainda um longo processo de uso e ocupação desordenado, sobretudo nas áreas urbanas e nas áreas de encostas, que contribuem direta e indiretamente no aporte de sedimentos para a rede fluvial.

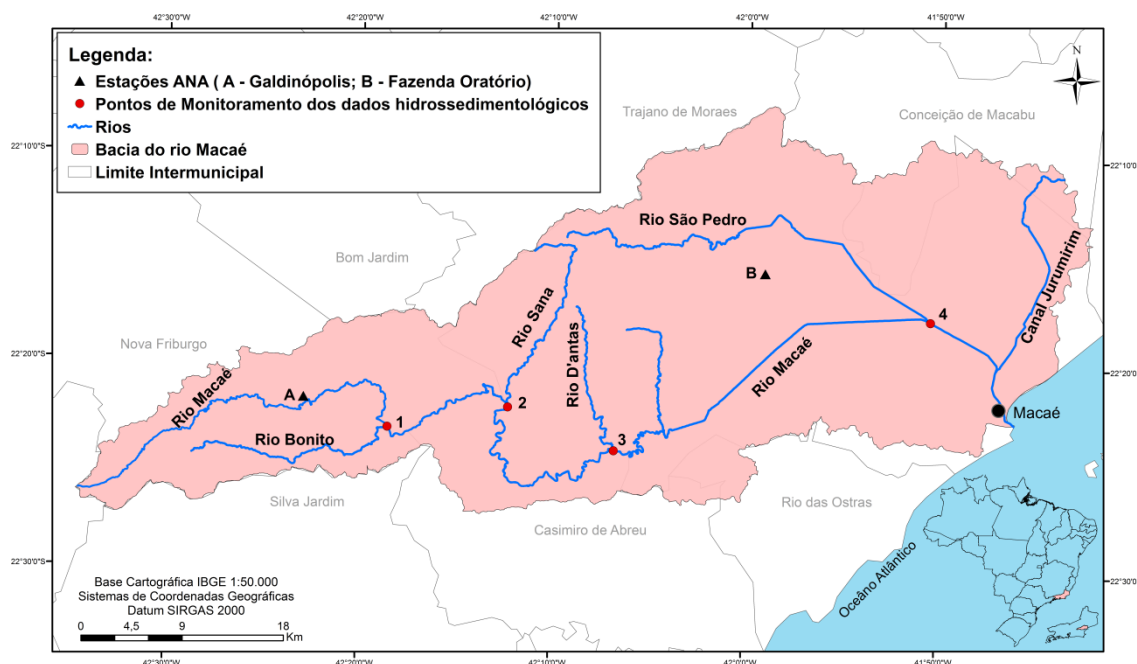


Figura 1. Localização da Bacia do rio Macaé, das estações pluviométricas e pontos de monitoramento hidrossedimentológicos.
Fonte: Grupo Geomorphos/UFRJ

METODOLOGIA

A identificação dos padrões de conectividade longitudinal no rio Macaé foi baseada em análises hidrológicas (vazão e pluviosidade), sedimentológicas (tipo de carga) e geomorfológicas (morfometria e mapeamento multitemporal de feições deposicionais no rio Macaé).

Na abordagem hidrológica foram elaborados gráficos pluviométricos e fluviométricos mensais retirados do portal *HIDROWEB* da Agência Nacional de Águas (ANA), referente à série de 13 anos (2000-2013). Foram utilizados os dados das estações Plúvio-Fluviométrica de Galdinópolis (740m de altitude), localizada no alto curso e Pluviométrica Fazenda Oratória (50m de altitude), no baixo curso (onde os dados de vazão média foram obtidos através do uso de Molinete em campo). As características sedimentológicas basearam-se na carga sedimentar de fundo através das análises granulométricas,

grau de arredondamento e de seleção, além da carga sedimentar em suspensão pelo método das análises de filtragem e pesagem.

Ressalta-se que tanto os dados de velocidade do fluxo como as coletas de sedimentos de fundo e em suspensão foram obtidas através de monitoramentos realizados duas vezes ao ano (nas épocas mais chuvosas, Março a Abril, e em épocas menos chuvosas, Outubro a Setembro), durante o período de Outubro/2007 a Outubro/2013. Os pontos de coletas estão localizados antes e após a desembocadura dos principais afluentes ao rio Macaé e foram nomeados de “pontos de monitoramento 1, 2, 3 e 4” localizados no alto curso em direção ao baixo curso, respectivamente. No entanto, a coleta dos dados em campo não pôde ser sistemática devido a condições adversas.

Na caracterização morfométrica foram analisados o índice de sinuosidade, declividade média e rugosidade do canal, de acordo com Strahler (1957), Schumm (1977), Christofolletti (1980). O perfil longitudinal foi realizado a partir do MDT utilizando a ferramenta *Topograph Profile do ArcGis 9.3*, com base cartográfica 1:50.000 do IBGE. No mapeamento das feições deposicionais no rio Macaé foram utilizadas imagens de satélites do *Google Earth* referentes aos anos de 2003, 2006, 2010 e 2013, realizados em partes selecionadas do canal.

A setorização do rio Macaé foi baseada na metodologia dos Estilos Fluviais de Brierley & Fryirs (2005), na qual consideram que diferentes segmentos de um rio podem ser caracterizados e classificados por um conjunto de suas características geomorfológicas e hidrodinâmicas. Esta classificação é baseada no caráter (estrutura geomorfológica do rio) e comportamento (características hidráulicas do canal e susceptibilidade a mudanças) para cada tipo de rio. Dessa forma, um só rio pode apresentar diferentes classificações de compartimentação (recebendo a denominação de ambientes; trechos; setores) mesmo que cada trecho fluvial interaja de maneira particular com a paisagem em seu entorno.

A classificação dos padrões de conectividade longitudinal foi de acordo com a apresentada por Hooke (2003), em (1) *Conectado*, onde os sedimentos fluviais se movem frequentemente dentro do sistema

canal, são transportados por eventos normais de cheias e geralmente podem ficar armazenados durante um tempo; (2) *Parcialmente* Conectado, onde ocorre um pequeno transporte de sedimentos grosseiros entre um trecho e outro, ocasionalmente, ou melhor, em eventos extremos; (3) *Potencialmente* Conectado, onde não há muita transferência de sedimentos grosseiros de um trecho para o outro, em função da pouca disponibilidade de sedimentos a serem transportados; (4) *Não Conectados*, onde partes do canal funcionam quase independentemente um do outro, na medida em que ocorre falta de competência do fluxo e baixa propagação de efeitos entre uma parte e outra; (5) *Desconectado*, onde há presença de barreiras dentro do canal (naturais ou construídas) que impedem o movimento do fluxo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características hidrossedimentológicas

A análise da série histórica das chuvas nos últimos treze anos (2000 a 2013), nas áreas do alto e médio curso da bacia, mostra que o padrão de precipitação e vazão mensais se manteve sem apresentar grandes variações. Segundo os dados registrados na Estação Plúvio-Fluviométrica de Galdinópolis (ver localização na figura 01), os meses de Dezembro, Janeiro e Março foram caracterizados com os maiores índices pluviométricos (variando de 300 mm a 600 mm), porém são os meses de Março que apresentaram as maiores descargas. Já os meses de Junho e Julho são os que ocorreram os menores quantitativos pluviométricos (média 28,7 mm e 54,7 mm, respectivamente).

Na relação entre os dados de chuva e vazão, o sistema de drenagem do rio Macaé se caracteriza por apresentar boa correspondência com os índices pluviométricos. Isto é, quando há aumento de chuva, as vazões tendem a aumentar, o mesmo acontecendo quando ocorre diminuição do quantitativo de chuvas. Além disso, as vazões máximas tendem a apresentar picos de descarga bem definidos, com as máximas, chegando a 80 m³/s durante os meses mais chuvosos (Dezembro, Janeiro e Março) e atingindo cerca de 2,5 m³/s em períodos mais secos (Junho e Julho) (figura 2).

Contudo, percebe-se que nos dois últimos anos (2011 a 2013), embora o quantitativo de chuvas tenha permanecido semelhante aos anos anteriores, com correspondência dos picos de vazões máximas, estas descargas apresentaram valores muito mais baixos (menos de 10 m³/s) nos meses mais chuvosos, como de Janeiro a Março e de Novembro a Dezembro, se comparado com os anos anteriores (2000 a 2010).

Nascimento (2010) relacionou dados de pluviometria e vazão na bacia do rio Macaé entre os anos 1950 e 2005 e seus resultados apontam que os eventos pluviométricos máximos interanuais estão ficando mais fortes no baixo curso enquanto que no alto curso apresentam-se estáveis. Já as tendências pluviométricas sazonais apontam para uma similaridade de comportamento entre o baixo e o alto curso onde há um aumento nos totais acumulados do verão e diminuição no período do inverno.

Em estudo recente, Marçal (2013) enfatizou que o comportamento e tendência dos processos fluviais no canal Macaé era predominantemente de dinâmica construtiva (deposição), mas havendo variações no aporte e distribuição de sedimentos ao longo do rio Macaé. Apesar dessas informações estarem relacionadas a um período de aproximadamente cinco anos (outubro de 2007 a março de 2012), estes dados expressam, de certa maneira, relação com o comportamento de distribuição irregular das chuvas e das vazões que vem ocorrendo no alto e baixo curso da bacia, como apontado por Nascimento (2010).

Ressalta-se que apesar dos meses de Junho e Julho, predominantemente mais secos, apresentarem aumentos de chuva (2004 e 2005, com total de 7,6 mm e 161,5 mm, respectivamente), não houve correspondência no aumento das descargas, permanecendo baixas e com pouca capacidade de transporte.

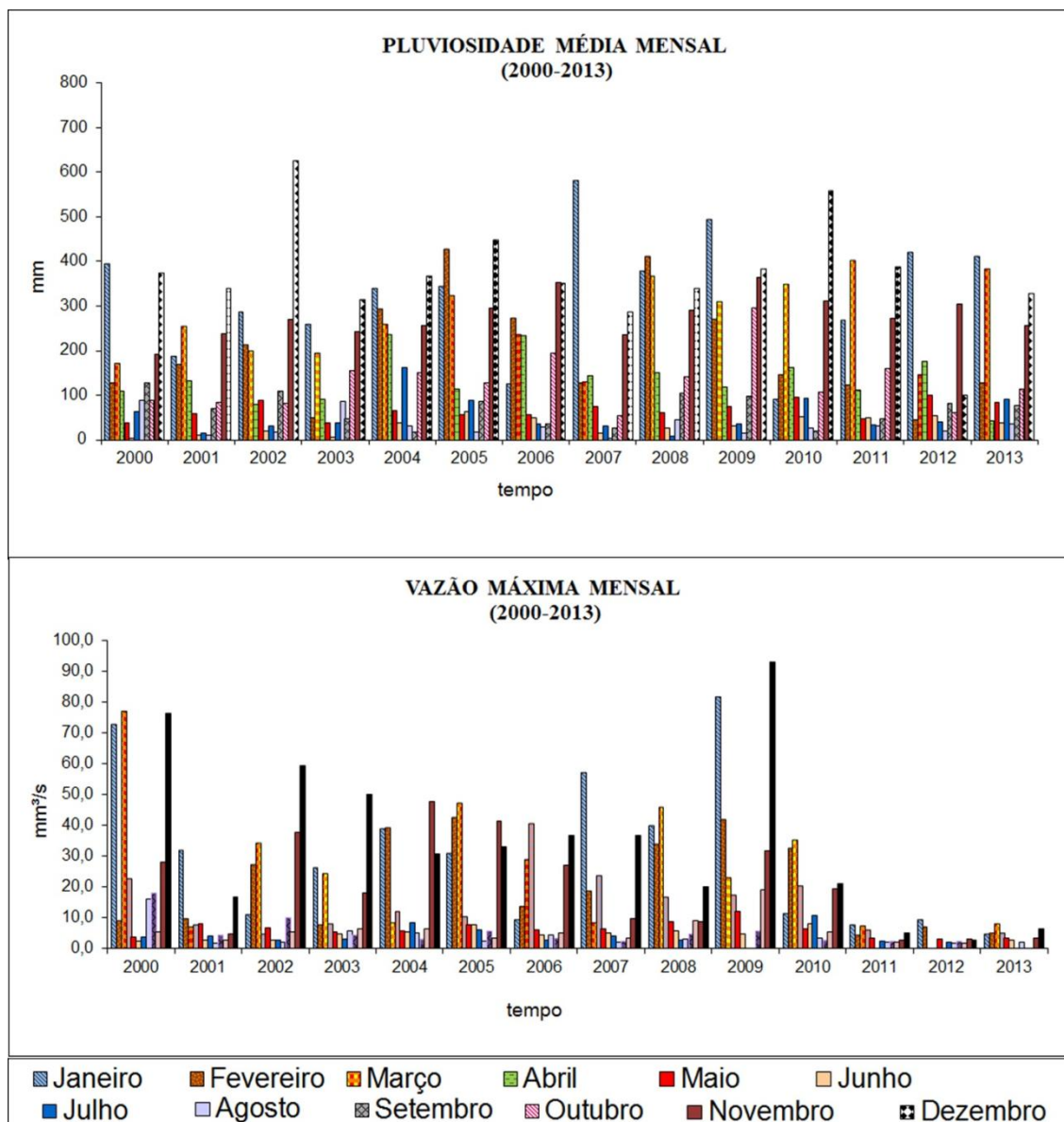


Figura 2. Distribuição das chuvas e das vazões máximas mensais durante o período de 2000 a 2013 da Estação Galdinópolis. Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

Nas áreas do baixo curso da bacia, a pluviosidade mensal referente aos treze anos (2000 a 2013) registrada na Estação Fazenda Oratória, permaneceu relativamente baixa variando em média de 250 mm, com picos nos anos de 2007 (690,7 mm em Janeiro) e no ano de 2008 (873,6mm em Novembro). Destaca-se que de forma quase similar a que ocorreu no alto curso, os meses de Outubro, Dezembro, Janeiro e Março. Esses são os que apresentaram os maiores índices pluviométricos, sendo o último mês o mais instável (figura 3).

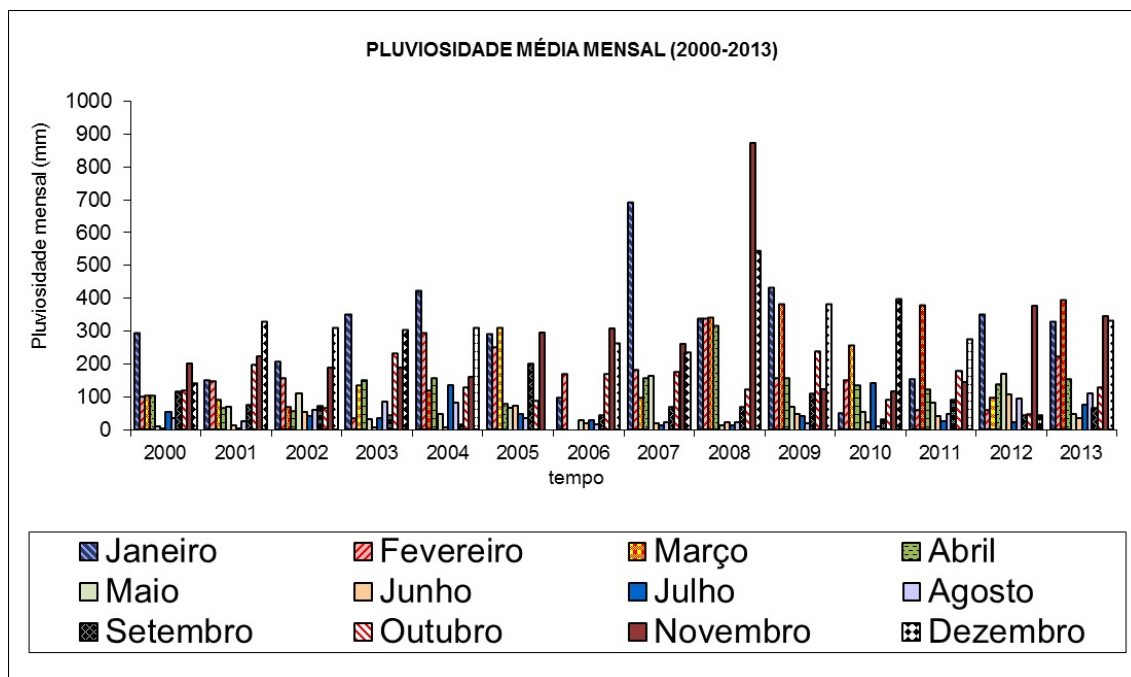


Figura 3. Distribuição das chuvas mensais da Estação Fazenda Oratória para os treze últimos anos de análise (2000-2013).
Fonte: ANA (Agência Nacional de Águas).

As vazões médias no baixo curso da bacia refletem a discordância com os índices de pluviosidade entre os meses de Outubro (2007 a 2009) e de Março (2008 a 2010), já que os meses de Outubro são caracterizados por valores bem inferiores, com dados variando de 6,7 m³/s a 21 m³/s, enquanto que os meses de Março, embora com chuvas mais instáveis, atingem valores acima de 50 m³/s (tabela 1 e figura 1).

Ano	Mês	Ponto de Monitoramento 3	Ponto de Monitoramento 4
2007	OUTUBRO	12,1	19,5
2008	MARÇO	59,4	39,7
	OUTUBRO	6,7	21,5
2009	MARÇO	62,4	36,7
	OUTUBRO	15,8	8,6
2010	MARÇO	11,9	62,3
2012	MARÇO	15,6	23,8
2013	OUTUBRO	78,9	21,95

Tabela 1. Dados de vazão (em m³/s) coletados em trabalho de campo para o baixo curso da Bacia do rio Macaé (Outubro de 2007 a Outubro de 2013). Fonte: dados laboratoriais.

Ao se comparar os dados hidrológicos apresentados no site da ANA do alto/médio curso da bacia com os do baixo curso, observa-se que os valores mensais de pluviosidade e vazão apresentam valores bastante semelhantes com poucos picos de chuva e descargas fluviais respondendo de forma imediata aos aumentos e reduções pluviométricas, na maior parte das vezes. Além disso, destaca-se que no baixo curso da bacia a vazão tende a ser mais elevada se comparada às áreas do alto curso, muito em função, provavelmente, da retificação do rio Macaé e de alguns de seus afluentes, que proporciona um aumento significativo das descargas na desembocadura do rio principal.

Os dados sedimentológicos (carga de fundo) coletados nos quatro pontos de monitoramento do rio Macaé apontam para a pouca variação da sua granulometria e grau de arredondamento. Ou seja, prevalece o transporte de sedimentos do tipo areia grossa e média, com arredondamento e selecionamento moderado. As partículas mais grosseiras como seixos e grânulos foram encontradas nos pontos de monitoramento 3 e 4 (desembocadura de afluentes localizados no baixo curso do rio Macaé). As partículas com maiores grau de arredondamento ocorreram, também, na área de monitoramento 4. Esse aumento significativo pode estar associado à retificação do rio, no qual acelerou o fluxo, aumentando a competência de carrear partículas maiores, com maior arredondamento dos grãos. Já na área do alto curso da bacia, no ponto de monitoramento 1, a descarga sólida de grande calibre pode ter tanto origem fluvial, vindos do afluente rio Bonito e da nascente do rio Macaé, como origem coluvial, pois caracteriza-se pela presença de vales confinados. As análises de sedimentos em suspensão indicaram valores baixos nos quatro pontos de monitoramento, sendo o ponto de monitoramento 4 o que apresentou dados mais constante e bastante expressivo (figura 1 e tabela 2).

Ano	Mês	Ponto de Monitoramento 1	Ponto de Monitoramento 2	Ponto de Monitoramento 3	Ponto de Monitoramento 4
2007	OUTUBRO	0,027	0,022	0,028	0,034
2008	MARÇO	---	0,017	---	0,053
	OUTUBRO	---	0,043	0,047	0,035
2010	MARÇO	---	---	0,025	0,031
2011	MARÇO	---	---	---	0,061

2012	MARÇO	0,01	0,01	---	0,04
2013	OUTUBRO	0,002	0,004	0,003	---

Tabela 2. Dados de sedimentos em suspensão (em gramas) coletados em trabalho de campo durante o período dos anos de 2007 a 2013. Fonte: dados laboratoriais.

Identificação de trechos fluviais com características e comportamentos geomorfológicos

Os rios possuem diferentes balanços erosivos e deposicionais ao longo de seu perfil longitudinal. A análise das inter-relações dos fatores controladores e da conectividade ao longo do perfil longitudinal são comumente usados com a finalidade de interpretar o estágio evolutivo do canal e verificar a influência da geologia e geomorfologia, na quebra de declives (JAIN et al., 2008).

No perfil longitudinal do rio Macaé se observa rupturas que podem estar relacionadas às características e configurações geológicas da área, sendo que duas se destacam por segmentar o rio em função da variação da forma e declividade média do canal delimitando-o em seu alto, médio e baixo curso (figura 4).

A primeira ruptura delimita o rio no seu ao alto curso, indo da nascente até aproximadamente no km 50, próxima à confluência do rio Sana. Neste segmento o perfil possui forma convexa, com declividade média de 2,4% onde o rio Macaé percorre cerca de 60 km, com leito rochoso e em vales confinados. Na sequência, a segunda ruptura esta mais a jusante, próximo ao km 77, onde se tem o início da retificação do rio, correspondendo ao limite mais a jusante do seu médio curso. Neste segmento, o rio Macaé percorre cerca de 40 km, com desnível de 20 metros em relação ao trecho anterior, com perfil em forma suavemente convexa e o gradiente do canal diminui em 1% em relação ao trecho anterior, dissipando a energia e reduzindo a velocidade de fluxo. O leito é caracterizado pela presença de blocos de rochas de variados tamanhos, entremeado a sedimentos mais silto-arenosos que englobam grande parte das serras locais. O segmento do baixo curso corresponde a toda parte retificada do rio, indo até a sua desembocadura, com leito aluvial de textura bastante arenosa e com declividade média do canal muito baixa de 0,085% (tabela 3).

Índices	Alto Curso	Médio Curso	Baixo Curso
Declividade Média (%)	2,5	1	0,08
Índice de Sinuosidade (Km/Km)	1,7	2,05	1,04
Rugosidade do Leito	3,06	0,07	0,06

Tabela 3. Parâmetros morfométricos para os trechos do alto, médio e baixo curso do rio Macaé. Fonte: dados laboratoriais.

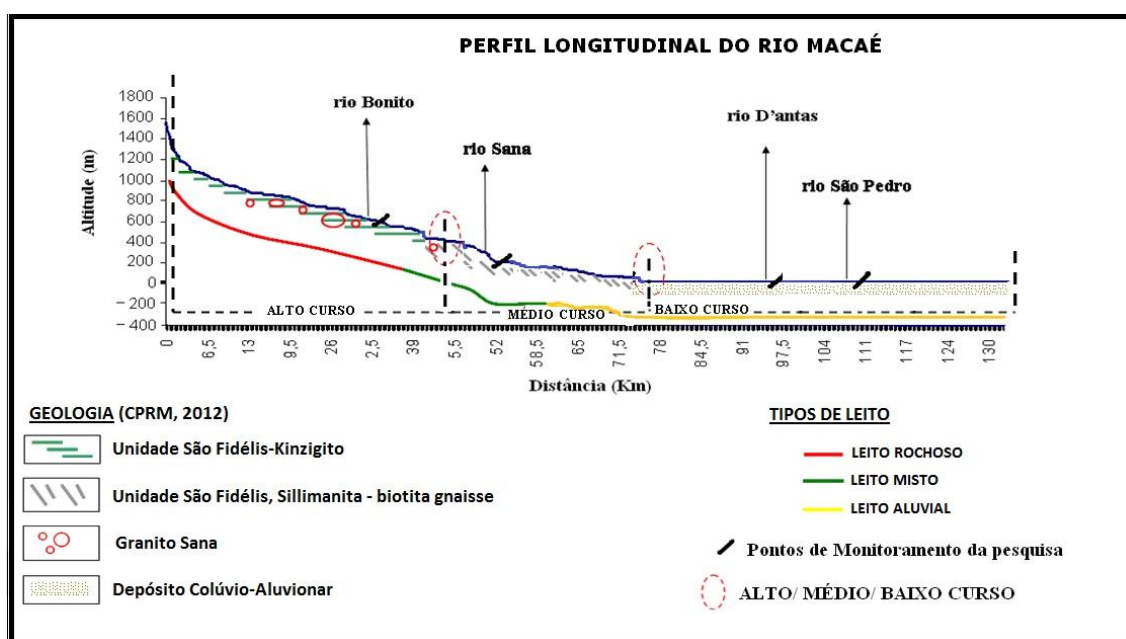


Figura 4. Perfil longitudinal do rio Macaé apresentando a delimitação do alto, médio e baixo curso; as principais unidades geológicas, os tipos de leitos e a localização dos pontos de monitoramento da pesquisa.

Fonte: dados laboratoriais.

Lima e Marçal (2013) apresentam sete estilos fluviais espacializados no perfil longitudinal do rio Macaé, levando em consideração a compartimentação geomorfológica, características do vale, forma em planta e as características hidrossedimentológicas do canal: *Cabeceiras Íngremes* ocorre predominantemente no domínio montanhoso, com amplitudes altimétricas que variam entre 200m e 400m; *Garganta* ocorre no domínio escarpas serranas em vales profundos e incisos com amplitude

topográfica superior a 400m; *Alargamentos Ocasioneis em Vales Estreitos* que movimentam sedimentos arenosos através do transporte de fundo; *Vale Sinuoso* encontrado em vales estreitos, assimétricos na transição do domínio escarpas serranas para o domínio colinoso; *Córregos Pedregosos* ocorrem na base das escarpas localizadas no domínio montanhoso; *Retificado* marcadamente representado pela modificação do leito natural por obras de retificação; e *Meandros Arenosos* caracterizados por deposição em barras laterais pontuais e susceptíveis à ação erosiva.

No entanto, ao se considerar a análise da capacidade de transporte de sedimentos do rio Macaé (transferência longitudinal), esta mostrou que as características e o comportamento das formas geomórficas deposicionais (dentro do canal) variaram espacial e temporalmente, sendo possível identificar quatro diferentes trechos fluviais que apresentaram padrões com comportamentos distintos.

Ao se comparar esses trechos com as três principais rupturas ou declive no perfil longitudinal do rio e com os sete diferentes estilos fluviais identificados por Lima e Marçal (2013), os mesmos se intercalam e apresentam comportamentos dinâmicos que podem variar de acordo com as mudanças das variações de intensidades das precipitações e das vazões.

Assim, o primeiro trecho individualizado na pesquisa, denominado de trecho fluvial I, vai da nascente do rio Macaé percorrendo cerca de cinquenta quilômetros de extensão para a jusante e está inserido no segmento do alto curso do rio Macaé. O canal possui sinuosidade baixa (1,5 km/km), declividade média e rugosidade do leito elevada (2,5% e 2,5 respectivamente), que propiciam escoamento turbulento e com velocidade elevada. Há predominância de matacões e blocos rochosos, nos quais são constantemente retrabalhados pelo regime de cheias. Na análise hidrológica, mesmo em épocas onde há maior pluviosidade e correspondência do aumento da vazão máxima (10 a 20 m³/s nos meses de Dezembro a Março), não há mobilização dos pedregulhos presentes neste trecho, em função de serem feições bem estáveis e de difícil locomoção, somente dos sedimentos com granulometria mais fina (figura 5).

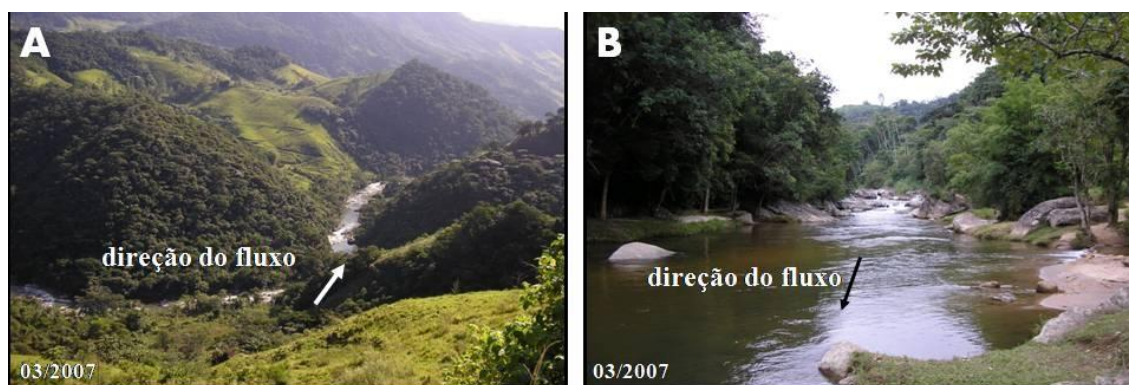


Figura 5. Trecho do rio Macaé. (A) vale confinado (B) com ocorrência de blocos rochosos dispostos em diferentes posições no rio. Foto: Marçal, M.S.

Na sequência, vem o trecho denominado de trecho fluvial II inserido no segmento correspondente ao final do alto e início do médio curso do rio, com cerca de vinte e quatro quilômetros de extensão, percorrendo áreas de vale confinado (figura 06). É uma área marcada pela elevada sinuosidade do canal (2,2 km/km) e baixa declividade (1,6%), com rugosidade do leito moderada (0,7). Caracteriza-se pela forte presença de ilhas vegetadas com blocos rochosos dispostos em diferentes posições. Mais a montante do trecho, estas feições ocorrem de forma concentrada ou localizada, principalmente após períodos de vazões elevadas (meses de Março e Abril), nas quais propiciam, também, a modificação em períodos sucessivos de erosão e sedimentação. Já mais a jusante, estas feições tendem a condicionar sua estabilização em função da vegetação dificultar a passagem do fluxo e aumentarem, assim, a retenção de sedimentos vindos da nascente e das vertentes em vales confinados diretamente ao canal. Na análise hidrológica é caracterizado por baixas vazões máximas (em torno de $10\text{m}^3/\text{s}$) que não exercem significativa contribuição na transferência de sedimentos de fundo à jusante (mesmo em épocas de aumento progressivo de chuva, Junho/2004 e Julho/2005, como também nos meses de maior pluviosidade Março e Outubro de quase todos os anos analisados). Embora nesses meses de chuvas elevadas ocorra maior contribuição de transferência de sedimentos (ver figura 2) há maior dissipação de energia em decorrência da diminuição da declividade e do confinamento do vale. Isso permite a transferência de sedimentos de fundo de forma mais lenta, com dinâmica sedimentológica sem muitas alterações.

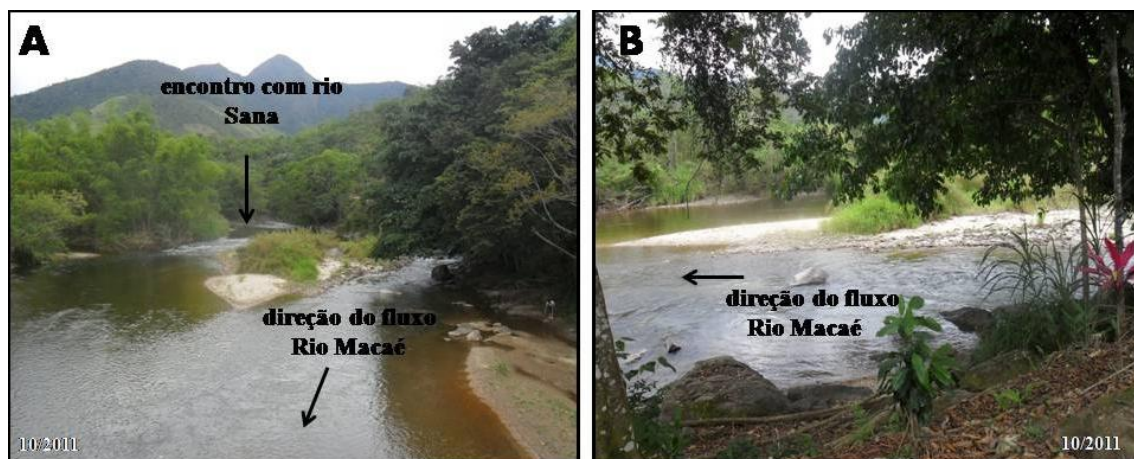


Figura 6. Trecho do rio Macaé. (A e B) confluência com o rio Sana mostrando a ocorrência de ilhas vegetadas e blocos rochosos ao longo do rio. Foto: Marçal, M.S.

O terceiro trecho, denominado de trecho fluvial III está localizado no segmento do médio curso do rio Macaé e possui cerca de vinte e três quilômetros de extensão, percorrendo vales semi-confinados. É um trecho que se caracteriza pela ocorrência e frequência de transporte de sedimentos de fundo e em suspensão, com a elevada presença de feições deposicionais fluviais (figura 07). O canal possui sinuosidade relativamente alta (1,6 km/km), declividade média e índice de rugosidade muito baixo (0,13% e 0,06 respectivamente). O rio é marcado por inúmeras sequências alternadas de feições arenosas, como barras submersas, barras laterais, barras longitudinais e barras de pontais, em todo o trecho. Estas se modificam muito em função do regime hidrológico da área como também da quantidade de carga sedimentar. Ou seja, quando a competência de transporte de sedimentos do rio diminui, tende a ocorrer acumulação dos sedimentos no fundo do rio (barras submersas), em função do grande aporte de sedimentar e do padrão de sinuosidade do canal. Porém, nos fluxos de cheias, há mobilização de sedimentos do leito para as barras laterais e longitudinais e vice-versa, dinamizando as transferências do rio.

Devido às diferentes disposições de sequências de feições deposicionais encontradas, esse trecho foi subdividido em subsetores. O primeiro, mais a montante, possui cerca de 10 km e é fortemente marcado por curvas de meandros bem abertas com sinuosidade de 1,4 km/km e declividade média de 0,11%, e rugosidade de 0,03; apresentam sequências alternadas de barras de pontal longitudinais e laterais e barras submersas, evidenciando os reflexos das vazões do alto curso do rio Macaé. O

segundo, mais a jusante, com cerca de 10 km, marcado pela presença de curvas meândricas mais fechadas com sinuosidade de 2 km/km, declividade média de 0,15% e rugosidade de 0,03, apresentam maiores oscilações com a presença de barras de pontal e submersas.



Figura 7. Trecho do rio Macaé. (A) vale não confinado (B) na confluência com o rio D'antas mostrando a sinuosidade do rio Macaé. Foto: Marçal, M.S.

O quarto e último trecho, denominado de trecho fluvial IV está localizado no segmento do baixo curso do rio Macaé correspondendo ao trecho retificado do canal e possui cerca de quarenta quilômetros de extensão, correspondendo a uma área com pouca presença de feições fluviais (figura 8). Apesar da retificação o canal apresenta ainda baixa sinuosidade com valores chegando a 1,3 km/km. Possui declividade média e rugosidade muito baixa (0,05% e 0,04, respectivamente).

Este trecho também foi dividido em dois subsetores devido apresentar apenas em uma das partes feições fluviais deposicionais. O primeiro deles está mais a montante e indo até próximo à confluência com o rio São Pedro, com 23 km de extensão. Possui sinuosidade de 1,09 km/km, declividade média de 0,08 % e rugosidade de 0,04, com grandes variações de ocorrências de barras submersas nas margens do rio. O segundo subsetor, mais a jusante, finaliza na desembocadura do rio Macaé com cerca de 15 km de extensão, possui sinuosidade de 1,1 km/km, declividade média de 0,13% e rugosidade de 0,04. É caracterizado por presença escassa de barras submersas (tendem a aparecer somente em certos períodos de vazão baixa e nas partes próximas à foz) e uma maior oscilação de pequenas ilhas fluviais vegetadas.

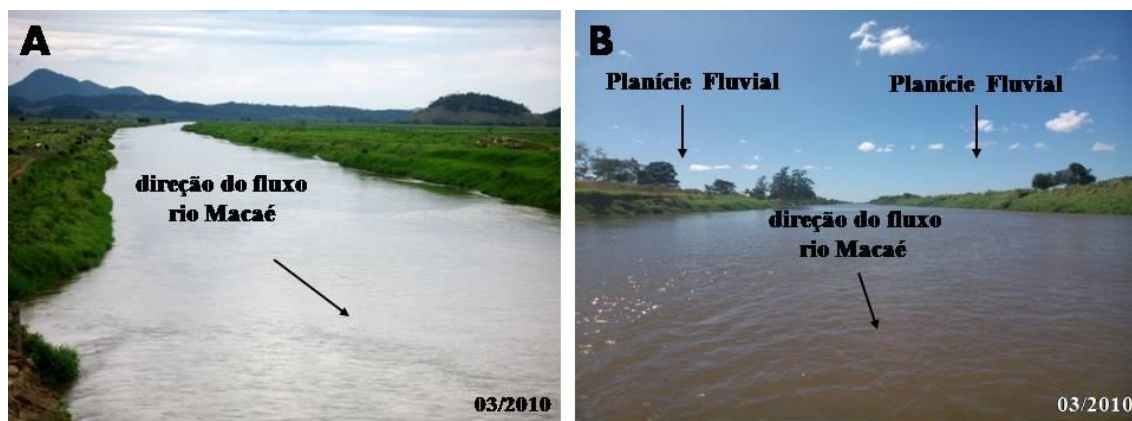


Figura 8. Trecho do rio Macaé. (A e B) canal retificado com amplas planícies aluviais.
Foto: Marçal, M.S.

Padrões de conectividade entre os trechos fluviais

A análise sobre a capacidade de transferência longitudinal (ao longo do canal) dos sedimentos (carga de fundo) entre os trechos fluviais identificados seguiu a proposta de classificação proposta por Hooke (2003), onde foram identificados três principais tipos ou padrões de conectividade: *conectados*, *potencialmente conectados*, *parcialmente conectados* entre os três primeiros trechos e *alta e média transferência* para o último trecho. A figura 9 apresenta a espacialização e padrões de conectividades identificados e a Tabela 4 sintetiza as características físicas e o tipo de conectividade existente entre os quatro trechos fluviais individualizados acima (figura 9 e tabela 4).

O trecho fluvial I é marcado pela elevada capacidade de produção e transporte dos sedimentos de fundo com granulometria mais fina (areia grossa a areia média), não sendo observado, no período analisado, o desenvolvimento de feições fluviais capazes de reter a carga sedimentar que chega ao rio. Ou seja, é um trecho fluvial de elevado gradiente e forte controle geológico/estrutural (rio bem entalhado no vale com inúmeras rupturas de declive, no qual tenderia a reter sedimentos naturalmente). Tal característica confere energia suficiente para transferir, de forma constante, os sedimentos que chegam ao trecho fluvial. A transferência de sedimentos para o trecho seguinte também se dá de forma contínua, sem o desenvolvimento de barreiras ao longo do rio e a conectividade longitudinal proposta é de um trecho *Conectado* (figura 9 e tabela 4).

No trecho fluvial II, em função do gradiente do canal diminuir e possuir níveis de base locais bem expressivos, localizados após a confluência com o rio Sana, permitiu maior retenção de sedimentos em determinados pontos dentro do trecho fluvial (a exemplo das ilhas vegetadas de grande porte com blocos rochosos margeando-as). A jusante do trecho foi observada boa transferência, predominantemente de sedimentos de fundo de granulometria do tipo areia grossa a fina, como também os de suspensão. Já os sedimentos de maior granulometria (seixos e matações) tendem a ficar retidos em várias partes deste trecho fluvial, muito em função dos calibres e inúmeros níveis de base presentes ao longo do trecho e são periodicamente transportados em eventos de cheia. Assim, a transferência de sedimentos fluviais para o trecho fluvial subsequente ocorre de forma contínua, porém, mais lenta, devido às pequenas barreiras de impedimentos, sejam os blocos rochosos que impedem e favorecem a formação, evolução e estabilização das ilhas vegetadas, como também, as próprias ilhas, mas que não comprometem o fluxo e transferência dos sedimentos fluviais para as partes mais a jusante do rio Macaé. A classificação do padrão de conectividade longitudinal proposta para este trecho fluvial é de um trecho *Potencialmente Conectado* (figura 9 e tabela 4).

O trecho fluvial III caracteriza-se pela baixa declividade, limitando muito a energia do fluxo e, conseqüentemente, a sua capacidade de transporte. Nesse trecho a transferência de sedimentos de fundo tende a ocorrer de acordo com a variabilidade das descargas, ou seja, se a vazão for baixa, a transferência pode vir a ocorrer no próprio leito do rio (entre barras submersas). Na medida em que a vazão for aumentando, as trocas de sedimentos podem vir a ocorrer de leito para barras arenosas emersas (e vice-versa), de barras emersas para barras emersas (barras laterais para longitudinais ou vice-versa). Além disso, se observou que a transferência entre os seus subtrechos (dinâmica entre os trechos) foi bastante eficiente, sendo classificada como conectividade alta, na medida em que há passagem contínua de sedimentos fluviais de barras laterais e longitudinais (1º subtrecho) para as barras de pontais (2º subtrecho), que aumentam de frequência e tamanho, e progressiva mudança na largura do canal, como observado em 2010. Este se deve, provavelmente, à intensa erosão das margens do rio nesse trecho e ausência de cobertura ciliar. Porém, a transferência de sedimentos fluviais de fundo inter-trecho (entre os trechos fluviais III e IV) foi considerada baixa, em decorrência da forte retenção de sedimentos em feições deposicionais arenosas. Dessa maneira, a classificação do

padrão de conectividade longitudinal proposta é de um trecho *Parcialmente Conectado* (figura 9 e tabela 4).

O trecho fluvial IV é caracterizado pela mudança artificial do leito do rio Macaé através do processo de retificação, propiciando maior capacidade erosiva e acúmulo de sedimentos de fundo, visto pelo aparecimento de ilhas vegetadas localizadas no centro do canal. Embora seja um trecho que possua morfologia homogênea devido à retificação, apresenta concentrações distintas de feições fluviais ao longo do seu curso. A dinâmica de transferência dos sedimentos entre seus subsetores (ou entre os trechos) foi caracterizada como moderada. O primeiro subsetor apresenta alternância nas margens com barras longitudinais submersas e ilhas arenosas vegetadas (oscilando diante das mudanças de vazões do baixo curso). O segundo subsetor apresenta redução dessas ilhas, mantendo somente a presença das barras submersas, de forma aleatória. O padrão de conectividade longitudinal proposta é de um trecho *Parcialmente Conectado* (figura 9 e tabela 4).

	1º TRECHO <i>51 Km</i>	2º TRECHO <i>24 Km</i>	3º TRECHO 23 Km	4º TRECHO <i>38 Km</i>
<i>Sinuosidade (Km/km)</i>	Baixa (1,54)	Elevada (2,18)	Moderada (1,64)	Retificado (1,31)
<i>Declividade Média (m)</i>	0,025	0,016	0,0013	0,0005
<i>Rugosidade do Leito</i>	2,54	0,776	0,0582	0,0388
<i>Unidades Geológicas / Leito Fluvial</i>	São Fidélis; Granito Sana / Leito Rochoso	São Fidélis; Granito Sana; Depósito Colúvio-Aluvionar / Leito Misto	São Fidélis; Búzios / Leito Aluvial	São Fidélis Búzios; Região dos Lagos; Depósitos Litorâneos / Leito Aluvial Arenoso
<i>Compartimentos Geomorfológicos / Configuração do Vale</i>	Morros a Serras/ Vale Encaixado	Serras Escarpadas/ Vale Encaixado	Planícies Fluviais a Serras/ Vale Semi -	Morros; Colinas e Planícies Fluviais/ Vale Aberto

	Encaixado			
<i>Pluviosidade / Vazão</i>	Alta / Alta	Alta / Alta	Alta / Média	Baixa / Alta
<i>Depósitos Fluviais e Carga de Fundo</i>	Aglomerção de blocos rochosos; grãos aronosos subangulosos	Ilhas vegetadas; seixos subarredondados	Barras arenosas; Deltas fluvial; grão arenoso subarredondado	Barras arenosas submersas e longitudinais; Ilhas fluviais; areia grossa subangulosa; silte e argila
<i>Descarga Sólida em Suspensão</i>	---	Baixa (0,0185)	Média (0,022)	Média (0,034)
<i>Conectividade do Fluxo de Sedimentos ENTRE OS TRECHOS</i>	Altamente CONECTADO	Potencialmente CONECTADO	Parcialmente CONECTADO	Parcialmente CONECTADO
<i>Conectividade do Fluxo de Sedimentos INTRA TRECHOS</i>	---	---	Alta Transferência	Média Transferência

Tabela 4. Principais características físicas, morfométricas e padrões de conectividade longitudinal entre os quatro trechos fluviais identificados no rio Macaé.

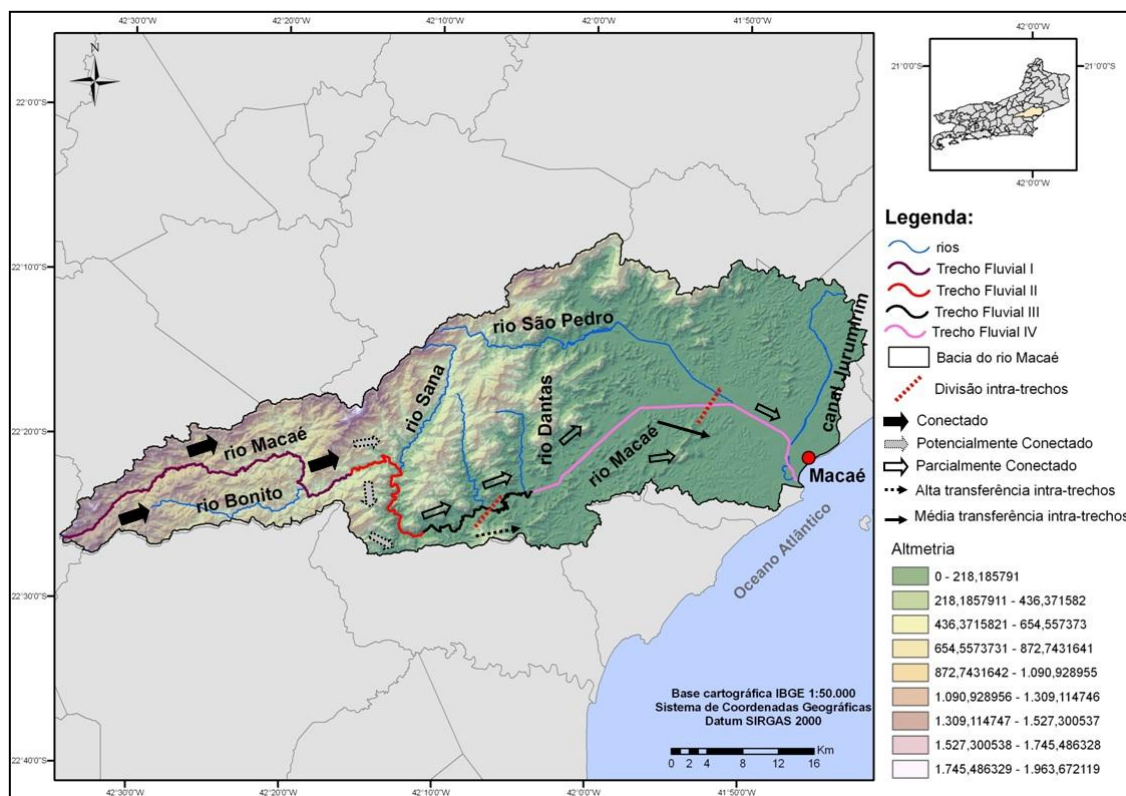


Figura 9. Diferentes trechos fluviais e os padrões de conectividades longitudinais para o rio Macaé.

CONCLUSÕES

No rio Macaé foram identificados quatro diferentes trechos fluviais (denominados de I, II, III e IV) com características geomorfológicas e hidrossedimentológica de comportamento. A declividade e a forma do canal no perfil longitudinal apresentam um papel importante no estabelecimento de diferentes comportamentos dos processos hidrossedimentológicos.

Os trechos fluviais II e III correspondem juntos, ao segmento do médio curso e foram os que apresentaram maior variação na retenção e transferência de sedimentos (da montante para a jusante) com desenvolvimento de formas deposicionais dentro do rio. Essa transferência se deu de forma lenta caracterizando-se em áreas mais suscetíveis as mudanças e variações das suas características hidrossedimentológicas. Ou seja, esses trechos tendem a apresentar ajustes mais lentos, quando ocorrer algum tipo de interferência (direta ou indireta) próxima ou dentro do rio.

Já os trechos fluviais I e IV correspondem aos segmentos do alto e baixo curso do rio, respectivamente, e foram os que não apresentaram variações significativas em relação aos trechos localizados no segmento do médio curso. São trechos que apresentaram boa transferência de sedimentos para a montante e tendem a apresentar ajustes mais rápidos, quando ocorrer algum tipo de interferência (direta ou indireta) próxima ou dentro do rio.

No entanto, o trecho fluvial IV corresponde ao setor onde o rio Macaé foi retificado e devido a isso não permite maiores ajustes dos processos fluviais dentro de sua calha. Mas, a elevada carga de sedimentos que passa por esse trecho, sobretudo em períodos de muita chuva, grande parte fica retida propiciando o desenvolvimento de barras emersas e/ou submersas, que variaram de forma bastante significativa, de acordo com o regime de chuvas da região.

Cabe destacar que a abordagem da conectividade da paisagem, juntamente com outras metodologias, apresentou-se adequada para a análise da dinâmica atual de transferência de água e sedimento de montante para jusante. Foi possível compreender e localizar os principais processos geomorfológicos responsáveis pelos ajustes dentro do canal. No entanto, a falta de um número maior de estações pluviométricas e fluviométricas espalhadas dentro da área da bacia constituiu-se em uma limitação importante do método aplicado.

Para o período analisado, o rio Macaé responde com boa conectividade na relação da transferência de água e sedimento de montante até sua desembocadura (conectividade longitudinal). No entanto, em alguns trechos do rio ocorrem muita captação e demanda de água pelos vários setores da população local e alterações antrópicas importantes, como a alteração das margens e da morfologia das confluências dos tributários com o canal principal, além de variedades de atividades de uso nas encostas.

Para compreender a natureza e grau de interferência desses fatores na relação de transferência de sedimentos e água para o canal principal, considera-se importante a continuidade dos estudos da conectividade na dimensão do canal com sua encosta (caracterizada pela relação encosta-canal e

planície de inundação-canal fluvial). Assim como, investimentos relacionados a monitoramentos com séries históricas a partir da instalação de estações meteorológicas e fluviais distribuídas no âmbito da bacia.

Com isso, novas perspectivas de análises acerca da conectividade da paisagem levantarão novos questionamentos para a continuidade da pesquisa e poderão contribuir com informações relevantes para o manejo sustentável do rio Macaé (através da identificação de áreas mais sensíveis às interferências de naturezas diversas) e ajudar a minimizar problemas relacionados a enchentes e secas no âmbito da sua bacia.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo auxílio concedido através da Chamada Universal 14/2012 e a CAPES pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.C.H. Geologia e recursos minerais da folha Macaé SF.24-Y-A-I, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – PGB. Belo Horizonte, CPRM/UERJ, 106p. *Mapa Geológico*, escala 1:100.000 (série Geologia do Brasil), versão digital em CD-ROM, textos e mapas. ISBN 978-85-7499-104-7, 2012.
- ASSUMPCAO, A. P. & MARÇAL, M. S. Retificação dos Canais Fluviais e Mudanças Geomorfológicas na Planície do Rio Macaé (RJ). *Revista de Geografia* (Recife), v. 29, 19-36 p, 2012.
- BARROS, A.C.M.; SOUZA, J.O.P.; CORRÊA, A.C.B. Sensitividade da paisagem na bacia do riacho do Mulungu, Belém de São Francisco, Pernambuco. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, 2010.
- BRIERLEY, G.J. & FRYIRS, K.A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 398 p, 2005.
- BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K.A.; JAIN, V. *Landscape connectivity: The geographic basis of geomorphic applications*. *Area* 38.2, 165–174 p, 2006.
- BRUNSDEN, D. *A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology*. *Catena* 42, 101–125 p, 2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p, 1980.
- COSTA, L.A.M.; GOMES, B.S.; MOREIRA, C.R.D.b. *A Geologia das Folhas de Macaé e Cabiúnas*. Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro. DRM/TRISERVICE. Escala 1:50.000, 1982.

- FEBA, L.G.T.; MOLINA, P.M.; HERNANDEZ, F.B.T. Diagnóstico Hidrossedimentológico da microbacia do córrego água da bomba no município de Regente Feijó – SP- *CONIRD 2006 – XVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem* – Goiânia, 2006.
- FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J.; PRESTON, N.J.; SPENCER, J. *Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment*, New South Wales, Austrália. *Geomorphology* 84, 297–316 p, 2007.
- HARVEY, A.M. *Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England*. *Catena* 42. 225–250 p, 2001.
- HILU, A. Erosão Hídrica na bacia hidrográfica do rio Marumbi no Estado do Paraná. HOOKE, J.M. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual ramework and methodology. *Geomorphology* 56. 79–94 p, 2003.
- HILU, A. *Erosão Hídrica na bacia hidrográfica do rio Marumbi no Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 119p, 2003.
- JAIN, V.; FRYIES, K.; BRIERLEY, G. Where do floodplains begin? The role of total stream power and longitudinal profile form on floodplain initiation processes. *Geol. Soc. Am Bull.*; 120: 127-141 p, 2008.
- LIMA, R. N. S. & MARÇAL, M. S. Avaliação da Condição Geomorfológica da Bacia do rio Macaé RJ a partir da Metodologia de Classificação dos Estilos Fluviais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, p. 171-179, 2013.
- MARÇAL, M. S. Análise das Mudanças Morfológicas em Seções Transversais ao Rio Macaé - RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, p. 59-68, 2013.
- MORAIS, R.M.O. *Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (formações Barreiras e Rio Doce)*. 144p, (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia/UFRJ), Rio de Janeiro, 2007.
- NASCIMENTO, F.J.B. *Caracterização Espaço-Temporal Das Chuvas Associada às Vazões Na Bacia do Rio Macaé – RJ*, Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 63p, 2010.
- SCHUMM, S.A. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Pub No. 1, p. 19-29, 1981.
- SCHUMM, S.A. *The fluvial System*, Chichester, UK: John Wiley and Sons, 338 p, 1977.
- SILVA, T.M. *A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 265 p. (Tese de Doutorado, Depto. Geografia/IGEO-UFRJ), 2002.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transaction of the American Geophysical Union*, v. 36, n. 6, p. 913-920, 1957.
- THOMAS, M.F. Landscape sensitivity in time and space — an introduction. *Catena* 42, p. 83–98, 2001.
- TUPINAMBÁ, M. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Nova Friburgo SF.23-Z-B-II*, Estado do Rio de Janeiro Escala 1:100.000. CPRM, Belo Horizonte, CD-ROM. ISBN: 978-85-7499-107-8, p. 71-80, 2009.