

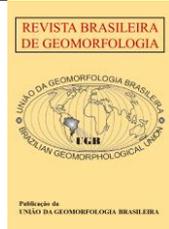


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 25, nº 1 (2024)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2253>



Artigo de Pesquisa

Cenários da conectividade fluvial atual e a relação de água e sedimentos na Bacia do rio Santana (RJ)

Scenarios of current fluvial connectivity and water-sediment interaction in the Santana Catchment (RJ)

Gabriel Ferreira de Oliveira¹, Mônica dos Santos Marçal²

¹ Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Email: gabriel.fgeo@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4938-9849>

² Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Email: monicamarcal@igeo.ufrj.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2674-5380>

Recebido: 03/07/2022; Aceito: 26/10/2023; Publicado: 01/02/2024

Resumo: A conectividade fluvial é uma abordagem que busca a construção de matriz teórica para ajudar a explicar o processo de evolução dos ambientes fluviais, considerando a multiescalaridade, destacando a importância da relação entre os elementos responsáveis pela configuração e distribuição do material nos componentes do sistema hidrológico. É importante a compreensão dos mecanismos e controles ambientais de caráter natural e/ou antrópico e identificar os tipos de bloqueios que interrompem o transporte de sedimentos. O foco da pesquisa está na análise qualitativa da conectividade fluvial atual com base na identificação dos tipos de bloqueios, cenários de precipitação e área de captação efetiva. A pesquisa foi realizada na bacia do rio Santana, que atualmente compõem o chamado "Sistema Guandu", responsável pelo abastecimento de água para a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. Foram construídos três cenários de conectividade fluvial atual com base nas relações entre os tipos de bloqueios, cenários de chuvas e a área de captação efetiva. A transmissão de água e sedimentos entre as sub-bacias apresentam diferentes respostas e o arranjo espacial dos elementos de (des)conexão fluvial que dão condições diferenciadas aos regimes hidrológicos e sedimentares com produção e vazão própria.

Palavras-chave: Transmissão água e sedimento; bloqueios; cenários de chuva.

Abstract: Fluvial connectivity is an approach to develop a theoretical background to help explain the evolution process of fluvial environments, considering multiscale, highlighting the importance of the relationship between the elements responsible for the configuration and distribution of the material in the fluvial system. It is important to understand the mechanisms and environmental controls of natural and/or anthropic character and to identify the types of impediments that interrupt the transport of sediments. The focus of the research is on the qualitative analysis of the current fluvial connectivity based on the identification types of impediments, precipitation settings, and the effective catchment area. The research was carried out in the Santana River catchment, which currently makes up the so-called "Guandu System", responsible for the water supply for the metropolitan region of the state of Rio de Janeiro. Three scenarios of current fluvial connectivity were constructed based on the relationships among the types of impediments, precipitation scenarios, and the effective catchment area. The transmission of water and sediments between the sub-basins present different responses and the spatial

arrangement of the elements of fluvial (dis)connection give differentiated conditions to hydrological and sediment regimes with their own production and flow.

Keywords: Water and sediment transmission; impediments; precipitation settings.

1. Introdução

Estudos sobre a dinâmica de funcionamento dos rios, associados às preocupações com a disponibilidade dos recursos hídricos, têm priorizado compreender as respostas dos processos associados às mudanças climáticas, com especial atenção ao aumento da frequência de eventos extremos, e avaliar o impacto das atividades humanas nos rios (PÖPPL et al., 2017; MARÇAL et al., 2017; SOUZA; CORRÊA, 2020; LIMA et al., 2021). Contudo, dada a complexidade associada a essas análises, importantes desafios aparecem, sobretudo no que diz respeito à abrangência das escalas temporal e espacial que estão associadas à compreensão da trajetória de evolução dos ambientes fluviais.

Nesse sentido, a conectividade fluvial se coloca como uma das abordagens teórica e/ou metodológica para trabalhar com as questões ambientais em bacias hidrográficas (HARVEY, 2002; HOOKE, 2003; BRIERLEY; FRYIRS, 2005; FRYIRS, 2012; DUARTE et al., 2017; MARÇAL et al., 2017; LIMA et al., 2021), ressaltando a continuidade entre produção, transporte e deposição sedimentar das paisagens fluviais. É uma abordagem que busca a construção de uma matriz teórica para ajudar a explicar o processo de evolução dos ambientes fluviais, considerando a multiescalaridade, destacando a importância da relação entre os elementos responsáveis pela configuração e distribuição do material nos componentes do sistema hidrológico, de forma a entender por onde e como os sedimentos são transferidos, tanto em termos de volume gerado, como no desenvolvimento de suas topologias (FRYIRS et al., 2007a; FRYIRS et al., 2015).

Vale ressaltar que existem vários conceitos relativos à conectividade da paisagem, que exploram diferentes fatores e processos relacionados, dentre eles a conectividade de sedimentos, conectividade hidrológica, conectividade hidrogeomorfológica e hidrossedimentológica. Todos eles apresentam diferenças e subjetividades, o que dificulta a sua distinção e aplicação. Com isso, o presente artigo se detém a conectividade hidrogeomorfológica, a partir da interface entre a geomorfologia fluvial e a hidrologia, pautado na análise qualitativa dos processos e características de relevo, nível de base, litologia, densidade de drenagem e os dados de precipitação da região, sendo representado pelo termo conectividade fluvial da bacia.

Assim, a conectividade fluvial pode ser compreendida como a capacidade de uma bacia hidrográfica transferir sedimentos de forma eficaz em resposta a uma perturbação externa ao sistema e, portanto, trata-se de uma propriedade importante dos sistemas ambientais que abrange processos geomorfológicos operantes em diversas escalas temporais e espaciais (CHORLEY; KENNEDY, 1971; BRIERLEY; FRYIRS, 2005; FRYIRS, et al., 2007; PÖPPL et al., 2017). O conceito de conectividade é trabalhado na Ecologia desde a década de 1970 visando a compreensão do “*continuum*” nas relações funcionais e de produtividade das comunidades nos ambientes fluviais (VANNOTE, et al., 1980). Para a geomorfologia fluvial, do ponto de vista metodológico, a conectividade fluvial pode ser considerada um controle primário nos fluxos de água e sedimentos no contexto da bacia (FRYIRS; BRIERLEY, 2013). O controle pode se expressar tanto em termos locais (exemplo: a configuração do vale) como regionais (exemplo: fatores ligados às litologias e estruturas).

De acordo com Walling (1982), apenas uma fração – e talvez uma fração bastante pequena – do sedimento erodido dentro de uma bacia hidrográfica encontrará seu caminho para a saída (exutório), e será representada na produção de sedimentos. Nesse sentido, Fryirs e Brierley (2013) destacam que a transmissão da conectividade fluvial, no âmbito da conectividade sedimentológica, se dá pelas ligações lateral (sedimentos da encosta para o canal), longitudinal (ao longo do próprio canal, de montante para jusante), e vertical (relacionada com a água subterrânea). Na geomorfologia, o conceito de ligação ressalta que a bacia hidrográfica pode ser interpretada como um todo, composto por diversos compartimentos que compõem um sistema fluvial, conectados ou não. De maneira prática, o conceito de ligação se traduz na relação direta entre precipitação e vazão (ANDREOLLI; COLLISCHONN, et al., 2006), visto que a bacia hidrográfica é sempre um sistema imperfeito, no que diz respeito à produção de sedimentos. Além disso, os conceitos de ligação e conectividade fluvial, reafirmam a necessidade de uma visão multiescalar dos processos que ocorrem nas bacias hidrográficas. O desenho atual de um sistema pode ser entendido como a resistência estrutural da bacia, englobando a configuração atual do sistema, seus componentes, topologia, ligações, limiares e seus controles (HARVEY, 2002).

Os autores Fryirs et al., (2007a) e Fryirs et al., (2007b) enfatizam que para trabalhar com a abordagem da conectividade fluvial, demanda-se a compreensão dos mecanismos e controles ambientais, sejam de caráter natural e/ou antrópico, que operam em múltiplas escalas, espaciais e temporais. Ressaltam, ainda, a importância de identificar os diferentes tipos de impedimentos e bloqueios existentes que interrompem e/ou interromperam o transporte de sedimentos (BRIERLEY, et al., 2006; FRYRS, et al. 2007b). No entanto, Duarte e Marçal (2017) chamam a atenção que nas análises da conectividade fluvial, deve-se levar em consideração que nas variáveis relacionadas às ligações laterais (ambientes entre canal e encosta), os bloqueios naturais remontam a escalas temporais pretéritas, do Pleistoceno/Holoceno, podendo chegar a períodos mais recentes. Já nas ligações longitudinais (ao longo do canal de montante a jusante), os bloqueios e impedimentos dependem da frequência e magnitude das enchentes atuais.

No caso do Brasil, é importante destacar que uma das questões ambientais atuais envolvendo as análises sobre os rios está relacionada ao aumento do aporte de sedimentos para o fundo dos vales fluviais (seja por interferências naturais e/ou antrópicas). Por meios diversos, tal aumento tem alterado a evolução dos ambientes fluviais e, por consequência, a trajetória de evolução dos rios. Lembrando que a produção e distribuição de água e de sedimentos depende diretamente dos *inputs* dos eventos de chuva e do bom funcionamento das bacias hidrográficas, refletindo na qualidade e na disponibilidade dos seus recursos.

Assim, através da análise da conectividade fluvial atual pode-se buscar cenários que mostrem a maneira pela qual vem ocorrendo a transmissão de água e sedimento na bacia e, com isso, identificar os elementos que compõem o sistema fluvial que podem estar gerando (des)conectividade. Ressalta-se que os tipos de bloqueios (ou impedimentos) em ambientes fluviais e sua relação com o comportamento das chuvas podem gerar novas morfologias e formas de transmissão.

Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa teve como foco a análise qualitativa da conectividade fluvial atual com base na identificação dos tipos de bloqueios, cenários de precipitação e área de captação efetiva. A pesquisa foi realizada na bacia do rio Santana, importante afluente pela margem esquerda do rio Guandu, que atualmente compõem o chamado "Sistema Guandu", sendo responsável pelo abastecimento de água para a região metropolitana do estado do Rio de Janeiro correspondendo à Região Hidrográfica II (Figura 1).

O Sistema Guandu de abastecimento é composto pela transposição das bacias Paraíba do Sul, Pirai e Guandu, além das bacias Guandu Mirim e da Guarda nas áreas da planície. As diversas intervenções hidráulicas ocorridas na bacia original do rio Guandu produziram mudanças no seu formato ao longo do tempo. Originalmente faziam parte da bacia do rio Guandu as sub-bacias da Guarda (antigo Itaguaí), do Guandu Mirim e da Mazomba, totalizando aproximadamente 2.000 Km². Atualmente a Bacia do rio Guandu possui área de 1.707 Km² (Figura 1A). Antes das intervenções hidráulicas iniciadas desde o século XVIII, o rio Santana era o principal formador da bacia do rio Guandu e atualmente está como importante afluente pela margem esquerda, sendo responsável pelo aumento expressivo da vazão em 41,98 % ao rio Guandu, favorecendo abastecimento da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro (COELHO e ANTUNES, 2011). O rio Santana nasce na serra do Mar, localmente denominada de serra do Tinguá na cota de 1.200 metros e percorre cerca de 53 quilômetros até a confluência com o rio Guandu. A área da bacia é de aproximadamente 329 km² (Figura 1B).

A presença de barragens (PCH), os diferentes usos da terra, as áreas urbanas e as obras de retificação nos rios são algumas das variáveis que proporcionam intensas modificações hidráulicas nas bacias que compõe o atual "Sistema Guandu" e certamente alteraram as características e comportamento dos processos fluviais, modificando expressivamente a forma de transmissão de energia e matéria na Bacia do rio Guandu. No entanto, não existem estudos que abordam a conectividade fluvial dessas bacias hidrográficas. Ou seja, pouco sabemos sobre como vem evoluindo a paisagem fluvial, sobretudo se considerarmos o Antropoceno e as mudanças climáticas. Com isso, a pesquisa se motivou em buscar conhecimento sobre a conectividade fluvial atual do rio Santana, considerando a importância do papel que este desempenha na manutenção hidrogeomorfológica e hidrológica do "Sistema Guandu".

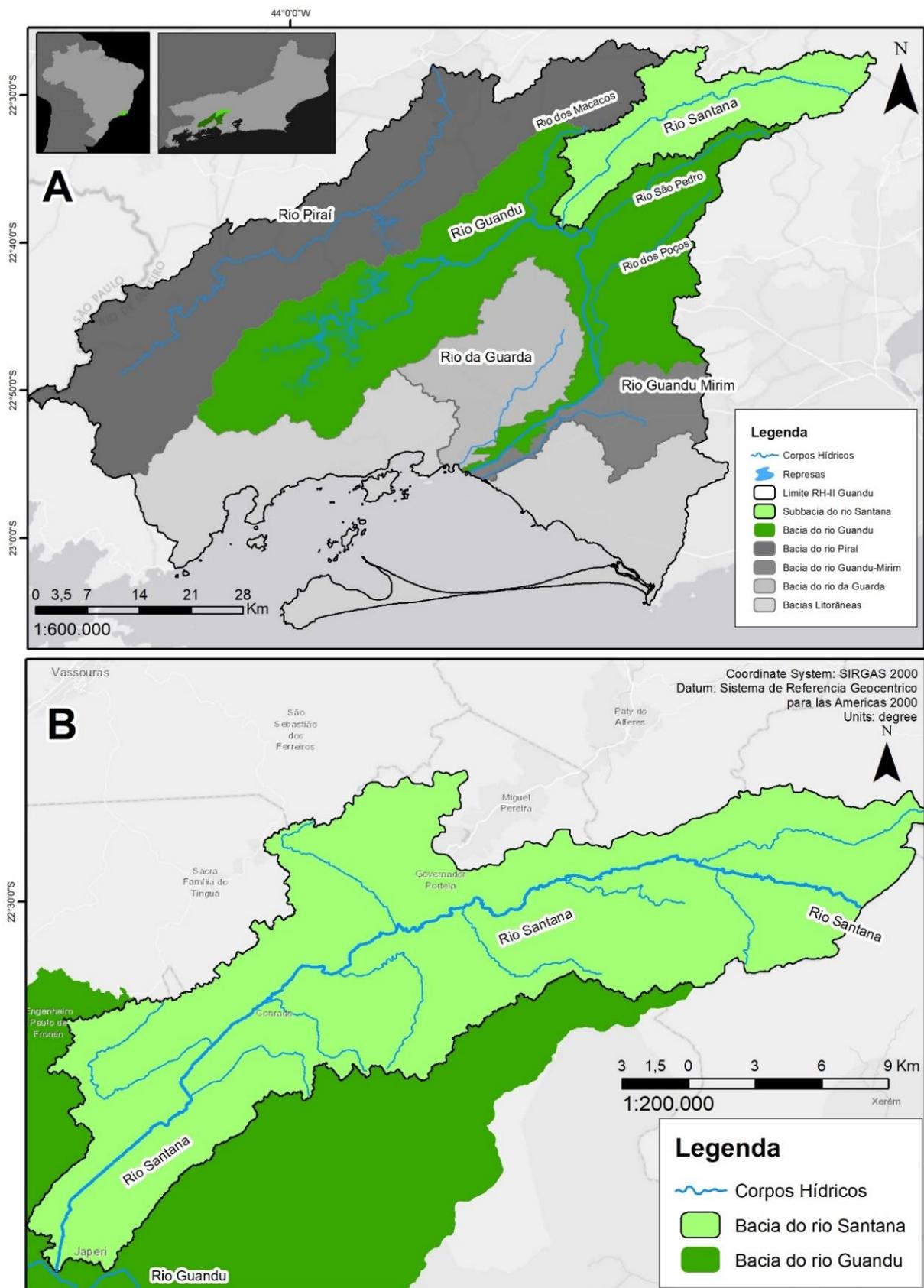


Figura 1. Localização da área de estudo. (A) Bacias hidrográficas que compõem o sistema Guandu, com destaque a sub-bacia do rio Santana. (B) Bacia do rio Santana e sua drenagem simplificada.

2. Área de Estudo

2.1. Contexto Geológico Regional

De acordo com Heilbron *et al.*, (2004), o estado do Rio de Janeiro, em sua maior parte, está inserido no denominado Cinturão Móvel Ribeira ou Faixa Ribeira, que corresponde a uma unidade geotectônica caracterizada por rochas proterozoicas deformadas e metamorizadas durante a orogênese Brasiliana (720-590 Ma). É uma área caracterizada principalmente por rochas metamórficas pára-derivadas, fortemente orientadas segundo o *trend* estrutural NNE-SSW e NE-SW, intrudidas por rochas ígneas intrusivas neoproterozoicas e eopaleozoicas, e estruturada por grandes falhamentos regionais. A Faixa Ribeira sustenta, em grande parte, a Serra do Mar, uma das principais feições de relevo do estado do Rio de Janeiro.

Asmus e Ferrari (1978) propuseram um modelo de evolução da margem continental do Sudeste do Brasil associado à geração de uma estrutura dômica durante a fase preliminar da abertura do Oceano Atlântico (estágio pré-rift), entre o Permiano e o Triássico. Os processos de afinamento da crosta relacionados à distensão e o concomitante acúmulo de sedimentos durante a evolução da margem continental, teriam determinado um pronunciado desequilíbrio isostático entre as áreas continentais e oceânicas. Como resultado dos continuados e opostos movimentos verticais da crosta (de soerguimento e subsidência), foram gerados falhamentos normais, principalmente ao longo de direções de foliação e de falhamentos de idade brasiliana. Estes movimentos epirogenéticos deram origem a blocos crustais basculados, cujo arranjo se configurou à maneira de cristas (as atuais serras do Mar e da Mantiqueira, bem como o Maciço Carioca) e depressões intermediárias (os atuais *grábens* do Paraíba do Sul e da Baixada Fluminense).

2.2. A bacia do rio Santana

De acordo com Zálan (2004), a área da bacia do rio Santana se desenvolveu no início do Cenozóico a partir de distensões da crosta continental da Plataforma Sul-Americana que originaram o conjunto de falhas denominados *Rifte* Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB). Segundo o autor, o soerguimento acentuado a partir de 10 Ma até o Plioceno, relacionado a reativações tectônicas apontadas por Hackspacher *et al.* (2003), pode ter sido o gerador do *Gráben* do Rio Santana, que corresponde a uma calha tectônica extremamente jovem desenvolvida imediatamente ao norte do *Gráben* da Guanabara (ZÁLAN, 2004).

A drenagem do rio Santana e de seus afluentes se desenvolveu partir destes sistemas de fendas continentais, e seus vales evoluíram sobre a zona de cisalhamento, criando uma bacia sedimentar de idade cenozoica no fundo de vale, com 15 km de comprimento e 2 km de largura, dividida em dois níveis deposicionais separados por blocos e falhas, como pode ser visto nos estudos de GONTIJO (2010). Outra característica marcante é a presença de *knickpoints* tanto no canal principal da bacia, quanto no rio São João da Barra e Rio Falcão Imperador (MACHADO, 2016).

De acordo com o mapeamento dos domínios e unidades geológicas-ambientais do estado do Rio de Janeiro realizado na escala de 1:400.000, pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), a área da bacia do rio Santana está inserida entre basicamente sete unidades geológicas que variam entre rochas com datação do Proterozóico (do período Toniano e Criogeno) e rochas do Fanerozóico (Figura 2A) e são representadas pelas unidades Arcádia Real, Conservatória, Raposos, Rio Negro, Graminha, Rio Turvo, Serra dos Órgãos e Depósitos aluvionares. No que se refere à litologia destas unidades, dentre as rochas do Toniano, há um predomínio de granada-biotita gnaisses nas unidades Arcádia Real e Conservatória, além da presença de quartizitos na unidade Raposos. Em relação a unidade Rio Negro (Criogeniano), há um predomínio de granitos, leucogranitos e gnaisses. Entre as unidades do Ediacarano, há um predomínio de rochas graníticas, hornblenda granito e ortognaisses. Por fim, os depósitos aluviais são compostos de silte, cascalho, argila e conglomerados polimíticos. Os contatos litológicos dos domínios Arcádia Areal, Conservatória e Rio Negro apresentam a mesma orientação com as principais falhas e zonas de cisalhamento do *Rifte* Continental do Sudeste Brasileiro, além de ter relação direta com os depósitos presentes no fundo de vale da bacia e, respectivamente, no *gráben* do rio Santana.

De acordo com Dantas (2000), a área da bacia do rio Santana apresenta morfologias de Serras Escarpadas e Serras Isoladas que se desenvolveram sobre as serras de Miguel Pereira, da Ponte, do Couto, e de São Pedro e do Tinguá (Figura 2B). Além disso, morros e colinas se desenvolveram nos planaltos ondulados sobre as Serras de São Pedro e do Couto. A área de planície fluvial é marcada por diferentes níveis deposicionais onde segundo Madeira

e Borghi (1999), nos depósitos quaternários desta bacia estão presentes sistemas de leques aluviais, com planícies mal drenadas, geneticamente relacionadas a outras planícies com as quais é comum o entrelaçamento de depósitos de extravasamento de diques marginais. Há também variados tipos de planícies de inundação ativas, tanto contínuas quanto descontínuas. Segundo os autores, as atividades antrópicas relacionadas à intervenção nos canais através de retificação e extração do canal também ocasionaram novos períodos de erosão.

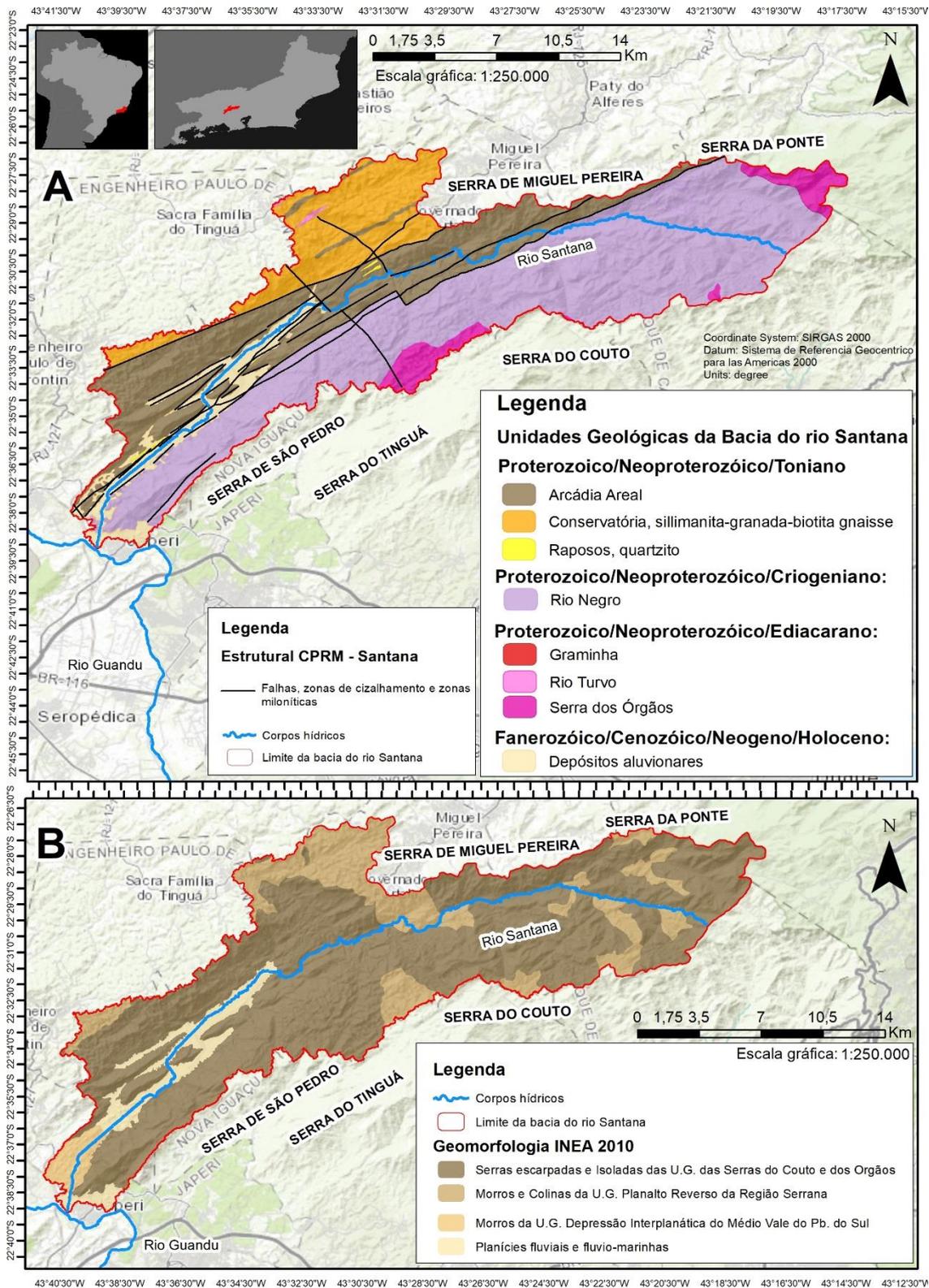


Figura 2. Bacia do rio Santana. (A) Mapeamento Geológico (CPRM, 2014) e em (B) Mapeamento Geomorfológico (Dantas, 2000).

3. Materiais e Métodos

A avaliação da conectividade fluvial atual da Bacia do rio Santana levou em consideração as atividades de identificação e mapeamento dos estilos fluviais, dos bloqueios naturais e antrópicos, da magnitude e frequência dos eventos de chuva e da área de captação efetiva (Figura 3).



Figura 3. Etapas da pesquisa.

As informações para a elaboração dos mapeamentos foram obtidas no banco de dados disponibilizado pelo Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. Foram utilizados a plataforma SIGA Web Guandu, a base contínua do IBGE (2018) na escala de 1:25.000, os *shapefiles* da base do Plano de Contingência do INEA (2010) na escala de 1:100.000 e os mapeamentos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Guandu (PERH, 2018), na escala 1:25.000, os mapeamentos Geológicos Regionais do CPRM na escala de 1:400.000 (2014) e os dados da classificação Climática Brasil do IBGE na escala de 1:5.000.000 (2006). Além dos dados vetoriais, foram incorporados também o Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS PALSAR e as imagens SENTINEL Série 2A, disponíveis *online* de forma gratuita.

Os estilos fluviais foram identificados de acordo com a metodologia apresentada por Brierly e Fryirs (2005), onde foram realizados os mapeamentos da configuração de vale, da forma em planta dos canais e das unidades geomorfológicas. A compreensão da relação entre as formas e processos geomorfológicos, na escala regional da bacia e por trechos dos canais, permitiu a classificação de diferentes segmentos de rios.

A identificação e mapeamento dos tipos de bloqueios naturais e antrópicos seguiu as orientações de Fryirs et al., (2007 a e b) e Duarte e Marçal (2017). As classes de bloqueios naturais utilizadas foram: 1) Sopé de encosta; 2) Terraços fluviais; 3) Planície de inundação; 4) Tributário Preenchido; e 5) Cabeceiras de drenagem entulhadas. A análise do comportamento da chuva foi confeccionada a partir da importação dos dados pluviométricos em 24 horas, através da plataforma SIGA Web Guandu, disponíveis no site do Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, agregados aos dados pluviométricos adquiridos no acervo digital do Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB, disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA). A estação que apresentou resultados mais confiáveis foi a estação Avelar-2243255, da qual foram analisados os dados de chuva diárias, chuvas mensais e a quantidade de chuva, com base na série histórica de 1985 a 2015.

Posteriormente, foi realizada a caracterização dos eventos de chuva, estimando padrões de magnitude e frequência dos dados de chuva, através de tratamentos estatísticos pelo *software* Excel 2010. Para isso, foram contabilizados somente os eventos que possam desencadear fluxos Hortonianos, caracterizadas como chuvas

efetivas, ou seja, chuvas maiores que 10mm/dia. Para isso, foram criadas classes de chuva (Tabela 1), sendo elas: chuvas de baixa magnitude, chuvas de moderada magnitude e chuvas de alta magnitude (REED, 1979).

Tabela 1. Classes, critérios e limiares dos eventos de chuva mapeados com os dados disponíveis na Estação Avelar (Agência Nacional de Águas), para a Bacia do rio Santana a partir dos limiares propostos por Reed (1979).

Classes de Chuva	Crítérios adotados	Limiares
Baixa Magnitude (B)	Chuvas maiores que 10 mm	$10 \leq B \leq 84,6$
Moderada Magnitude (M)	Média da série Histórica	$84,6 \leq M < 175,8$
Alta Magnitude (A)	maior valor de Máxima Diária	$A \geq 175,5$

As chuvas caracterizadas como de baixa magnitude são as que apresentam valores entre 10 mm/dia (chuva efetiva) e a média da série histórica utilizada de 84,6 mm/dia (tabela 1). As chuvas caracterizadas como de moderada magnitude, foram as que apresentam valores entre a média da série histórica (84,6 mm/dia) e o valor da maior máxima diária encontrada (175,5 mm/dia). Por fim, as chuvas caracterizadas como de alta magnitude, foram os valores maiores ou iguais ao valor da maior máxima diária encontrada (175,5 mm/dia).

A área de captação efetiva (ACE) corresponde a porção da bacia que tem o potencial de contribuir diretamente ou transportar água e sedimentos ao longo dos canais fluviais, sob dada condição de fluxo para um ponto comum (FRYIRS et al., 2007a). O mapeamento e a modelagem da área de captação efetiva em sistema de informações geográficas (SIG) consistiu na interpretação de que o ângulo de inclinação (gradiente) controla a entrega de sedimentos ao canal, onde fatores como a natureza da superfície da terra e a natureza do escoamento determinam a quantidade de energia disponível para os processos de erosão e transporte de sedimentos (FRYIRS, et al., 2007a). Neste sentido, dentre os fatores importantes ao entendimento do escoamento superficial que possuem pouca variação ao longo do tempo, a declividade é o principal determinante da força de fluxo e da energia avaliada para o transporte de sedimentos (FRYIRS et al., 2007b).

O mapeamento da conectividade fluvial atual da Bacia do rio Santana foi obtido a partir das informações do mapeamento dos bloqueios naturais e antrópicos e da área de captação efetiva (ACE), de acordo com as classes de chuva definidas, a partir dos dados pluviométricos. O mapeamento foi realizado com o auxílio do *software* ArcGis 10.5.1 e da extensão *ArchHydro*, utilizando como base os polígonos referentes aos bloqueios naturais e antrópicos, sobrepostos pelo mosaico das cabeceiras de drenagem de cada sub-bacia. A partir dessa sobreposição, a análise foi conduzida a fim de identificar as áreas contribuintes e as suas relações de transferência de água e sedimento a montante e a jusante dos bloqueios. Os tipos de bloqueios zonas tampão (*buffers*) e barreiras (*barriers*) foram classificadas segundo a magnitude da chuva necessária para rompê-los, o que gerou três cenários de (des)conectividade: baixa, moderada e alta magnitude.

4. Resultados

4.1. Características morfométricas e os estilos fluviais

Os ambientes fluviais são caracterizados por serem bastante dinâmicos e complexos, devido à multiescalaridade dos processos associados. A Figura 4 apresenta os principais aspectos da configuração espacial do relevo e da rede de drenagem da Bacia do rio Santana, tendo-se como bases a identificação da rede de drenagem, a configuração das sub-bacias e suas cabeceiras de drenagens (Figura 4A), as classes de declividades (Figura 4B) e topografia através da altimetria (Figura 4C).

A bacia apresenta em sua configuração dez sub-bacias que se conectam com o canal do rio Santana e cada uma delas apresentam formas e tamanhos diversificados, mas sendo possível identificar padrões de formas e processos que se repetem devido ao forte controle geológico regional (ver Figura 2B). Os mapas hipsométricos e de declividade mostram características importantes em relação: ao formato da bacia, à configuração dos vales, ao gradiente dos canais e às feições geomorfológicas dentro e fora dos canais.

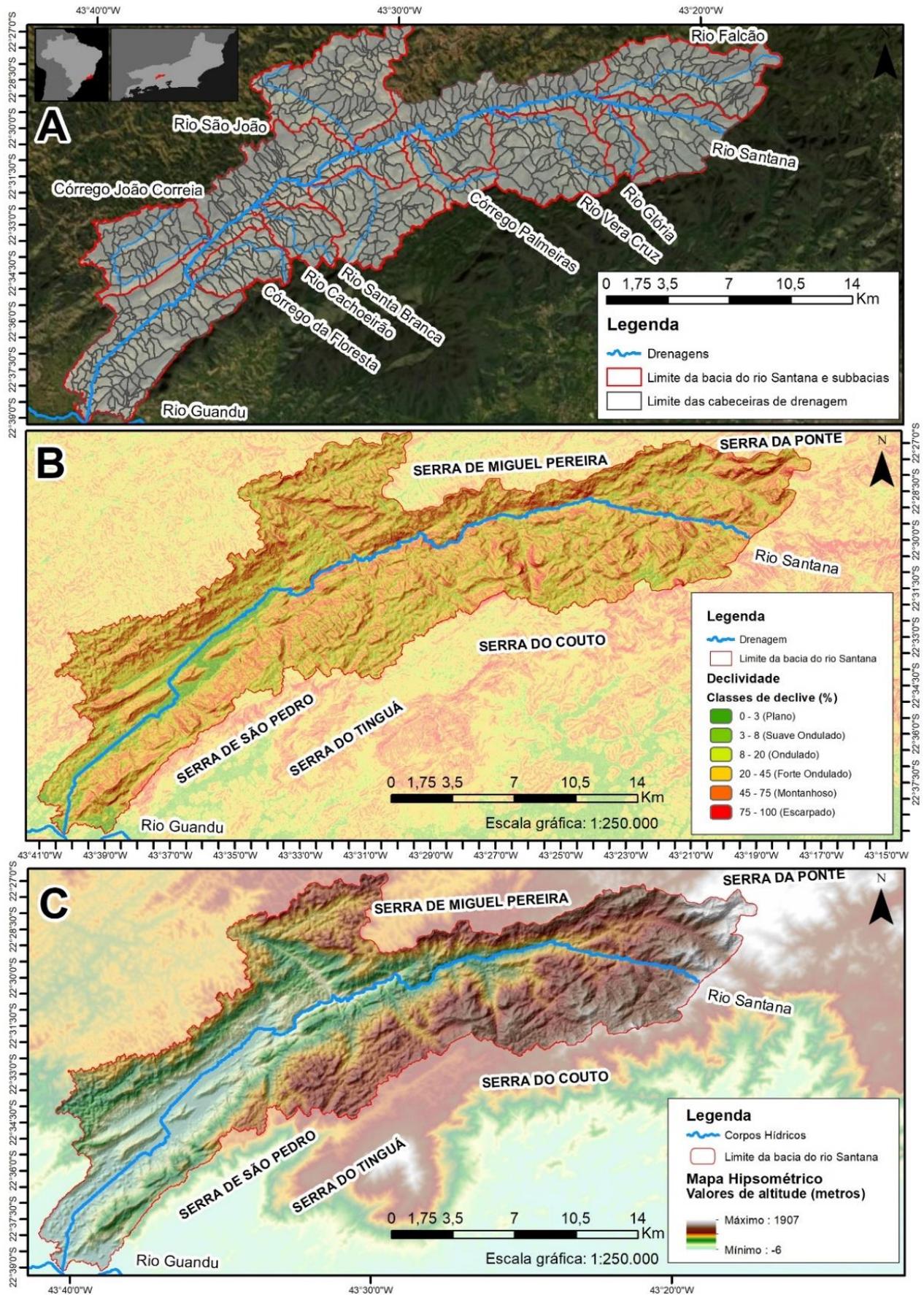


Figura 4. Mapas morfométricos da bacia do rio Santana. (A) Sub bacias e cabeceiras de drenagem. (B) Classes de declividade e (C) Hipsométrica.

Na bacia do rio Santana foram identificados sete estilos fluviais, evidenciando a complexidade e diversidade dos ambientes fluviais (Figura 5). A Tabela 2 apresenta os principais atributos que sintetizam o caráter e o comportamento de cada estilo fluvial.

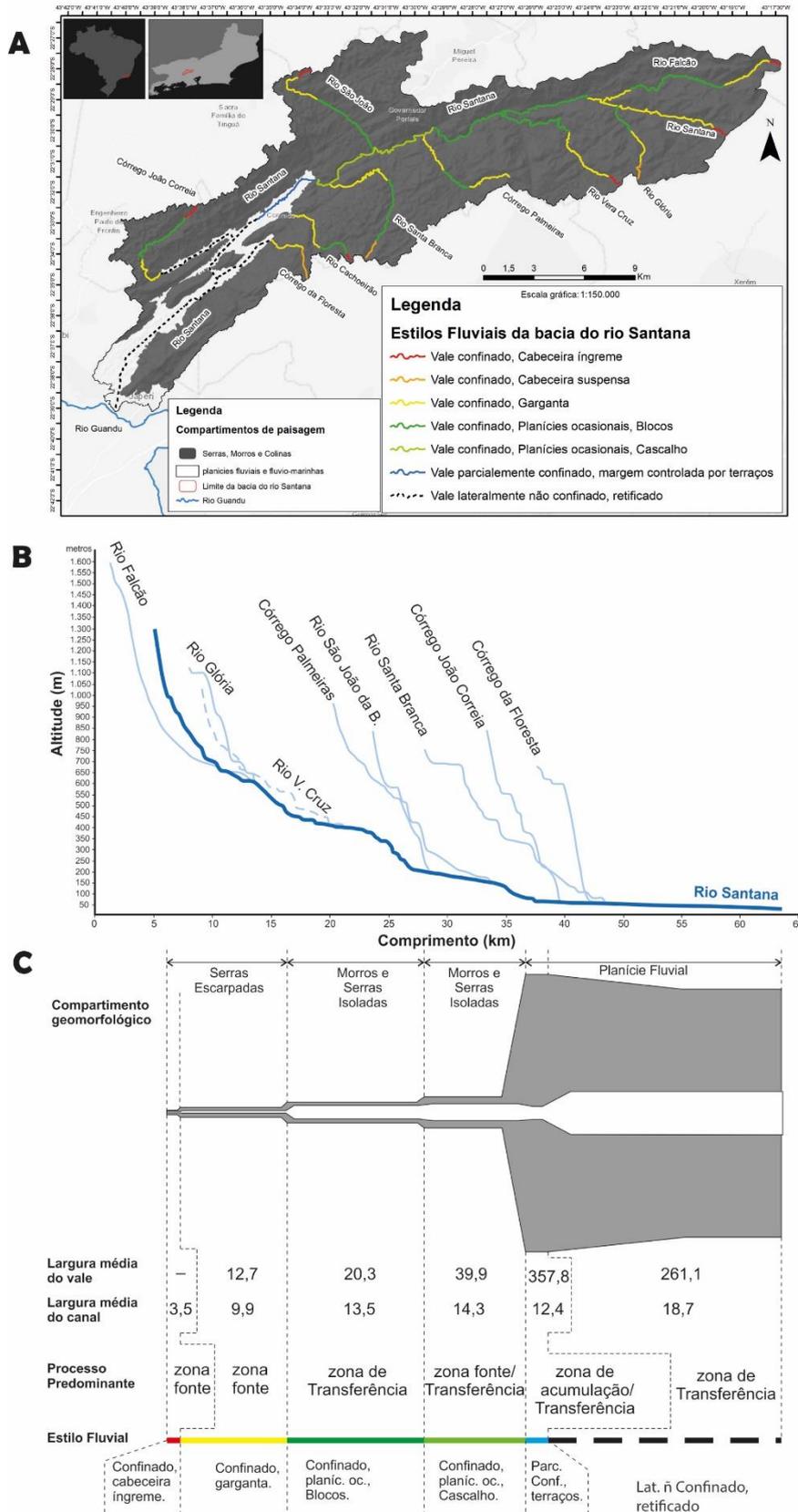


Figura 5. Diversidade dos padrões de comportamento dos rios na Bacia do rio Santana. (A) Mapa dos Estilos Fluviais. (B) Perfil longitudinal do rio Santana e seus principais afluentes. (C) Relações entre a largura do vale e do canal, confinamento do vale.

Tabela 2. Principais atributos dos estilos fluviais identificados na Bacia do rio Santana. Os nomes dos estilos fluviais são abreviados e U.G refere-se a unidades geomorfológicas.

Atributos dos Estilos Fluviais identificados na Bacia do Rio Santana					
Estilo Fluvial (abreviado)	Compartimento de Paisagem	U.Gs	Caráter	Comportamento	
1	Confinado, cabeceira íngreme	Cabeceiras de drenagem encaixadas em serras escarpadas, com alta declividade.	X	Canais estreitos e rasos, formados pelo escoamento superficial das encostas (substrato)	Trechos de cabeceiras, Primeiros inputs de água e sedimento na rede de drenagem.
2	Confinado, cabeceira suspensa	Cabeceiras de drenagem suspensas, de baixa declividade, entre ao limite da bacia e as escarpas íngremes.	X	Trechos estreitos e rasos, drenando os fluxos em relevos de baixa declividade	Trechos de cabeceira que precedem knickpoints, com morfologia de cabeceiras suspensas.
3	Confinado, garganta	Serras escarpadas e locais; de alta declividade; com vales encaixados no substrato rochoso.	Degraus, Cachoeiras, Cascatas, Piscinas de substrato e Corredeiras	Canais encaixados, estreitos e com feições de suprimento limitado (granulometria grosseira).	Zona fonte de sedimentos; Forte controle geológico; Alta conectividade longitudinal; Baixa conectividade lateral. Canais com alta energia, fluxo turbulento.
4	Confinado, planícies ocasionais, blocos	Serras escarpadas, morros e colinas, com curvas de declividades moderadas. Presença de <i>knickpoints</i>	Degraus, Cachoeiras, Piscinas, Cascatas, Corredeiras e Soleiras	Presença de P.I.O, canais mais largos, com U.G de canal com granulometria grosseira/média e de alta energia.	Zona fonte de sedimentos; Forte controle estrutural; Baixa conectividade longitudinal pela presença de knickpoints
5	Confinado, planícies ocasionais, cascalho	Serras escarpadas, morros e colinas, com curvas de declividades moderada. Forte influencia dos <i>hollows</i> .	Piscinas, Soleiras, Corridas e Barras	Presença de P.I.O, canais mais largos, com U.G de canal com granulometria média/fina e de energia moderada. Os sedimentos mais grosseiros são originadas das encostas.	Zona fonte/ de transferencia de sedimentos; Conectividade lateral moderada; Margens controlada pelo substrato e feições aluvio-coluviais
6	Parcialmente Confinado, margem controlada por terraços	Planície aluvial, com presença de feições aluvio coluviais	Barras laterais, Barras de Pontal, Soleiras, Piscinas	Canais mais largos (aluviais), com P.I. descontínuas e feições anexadas às margens e no canal (granulometria fina)	Zona de transferencia de sedimentos; Alta Conectividade Lateral e Longitudinal; Alta capacidade natural de ajuste.
7	Lateralmente não Confinado, retificado	Planície aluvial, com presença de feições aluvio coluviais	Barras laterais, Soleiras forçadas e Elementos Estruturais	Canal largo e retilíneo, de margem antrópica e marcado por poucas feições visíveis.	Zona de transferencia de sedimentos; Alta conectividade longitudinal e baixa conectividade lateral.

U.G. -> Unidades Geomorfológicas

X -> Sem Unidades Geomorfológicas expressivas

P.I. -> Planície de Inundação

P.I.O. -> Planície de Inundação Ocasional

O Estilo Fluvial Vale Confinado, Cabeceira Íngreme foi identificado nos rios Santana, Falcão, Vera Cruz, São João, Cachoeirão e Córrego João Correa (Figura 5). São trechos de canais inseridos em compartimentos de relevo escarpados desenvolvidos em domínios de rochas metamórficas, com predomínio de diferentes tipos de rochas como gnaisses e ortognaisses. Caracterizados por leitos rochosos e rasos, vales estreitos, com elevado gradiente dos canais controlados pelo substrato rochoso (figura 5B), esse estilo fluvial possui baixa capacidade de ajuste lateral, com alta produção e transporte de sedimentos (Figura 5C; Tabela 2). Em evento extremo de chuva, tende a ter alto potencial erosivo, uma vez que sua configuração de vale dificulta a dissipação de energia. O comportamento deste estilo se dá pela confluência das primeiras entradas de água e sedimentos e na formação dos canais de primeira ordem da bacia, sendo as primeiras zonas fonte de água e sedimento da rede de drenagem.

O Estilo Fluvial Vale Confinado, Cabeceira Suspensa, está presente nos rios Glória, Santa Branca e da Floresta (Figura 5). Estes trechos se desenvolveram em domínios geológicos similares ao estilo fluvial anterior, porém apresentam singularidades quanto aos compartimentos de relevo e gradiente dos canais. Este Estilo está diretamente ligado aos pontos de ruptura (knickpoints), sendo trechos que convergem as águas em planaltos ondulados, com morfologia semelhante aos hollows côncavos suspensos, descrito por Moura et al. (1991), nos estudos da Geometria de Relevo do Sudeste do Rio de Janeiro. Tais trechos apresentam declividades suaves (figura 5B), com canais de pequeno porte e poucas unidades geomorfológicas visíveis na sua forma em planta, sendo um estilo que precede as rupturas de relevo (knickpoints) e trechos encaixados nas margens do vale.

O Estilo Fluvial Vale confinado, garganta é o mais recorrente na área da bacia, presente em todos os tributários e no canal tronco da bacia (Figura 5). Estes trechos se desenvolveram em diferentes tipos de rochas gnaissicas, ortognaisses e rochas metaultramáficas, com relevos escarpados e vales em forma de garganta. A configuração dos compartimentos forma canais turbulentos em vales estreitos e controlados pelas margens do vale. Estes trechos de canais apresentam unidades geomorfológicas de canal induzidas pelo substrato rochoso e por blocos rochosos esculpidos. Dentre as principais unidades geomorfológicas, ocorrem as sequências de degraus rochosos (knickpoints), as cachoeiras, piscinas rochosas e cascatas.

O Estilo Fluvial Vale Confinado, Planícies Ocasionalis, Blocos Rochosos só não está presente no córrego da floresta. São segmentos de canais inseridos em domínios de rochas metamórficas, com diferentes tipos de Gnaisses, Ortognaisses e rochas metaultramáficas, com relevos de escarpas e colinas associados. Estes trechos apresentam fluxos turbulentos e com ocorrência de unidades geomorfológicas dentro do canal induzidas pelo substrato rochoso e por blocos rochosos. São encontradas sequências de knickpoints, cachoeiras, piscinas e cascatas, além de apresentar planícies de inundação descontínuas ocasionais. Neste estilo, os canais são controlados não só pela margem do vale e substrato rochoso, mas também por feições aluviais do fundo de vale, atuando como zona fonte de sedimentos. Já o Estilo Fluvial Vale Confinado, Planícies Ocasionalis, Cascalho pode ser entendido como uma variação do estilo fluvial anterior, onde a diferença fundamental se dá pela presença de um gradiente mais suave e por controle mais expressivo das feições aluviais, formando leitos e unidades geomorfológicas de granulometria mais selecionada como cascalhos e areia.

O Estilo Fluvial Vale Parcialmente Confinado, Margem Controlada por Terraços Fluviais, é o único trecho de canal caracterizado como vale parcialmente confinado, presente na abertura do vale sedimentar da bacia. Tal estilo fluvial está sobre a grande planície fluvial da bacia do rio Santana, nos depósitos de silte, cascalho, argila e conglomerados polimíticos presentes no Gráben do Santana. Apresenta uma configuração de vales largos, porém, os níveis de terraço atuam como margens de confinamento, controlando de forma parcial o canal. Mesmo com a capacidade de ajuste lateral controlada pelos níveis de terraço fluvial, o canal apresenta meandros e sequências de barras de pontal, soleiras e piscinas aluviais, que se reajustam de acordo com a variação de fluxo. Esse trecho é marcado tanto pela deposição de sedimentos do alto curso, por conta do baixo gradiente, quanto pelo realocamento dos sedimentos das margens dos terraços.

Por fim, o Estilo Fluvial Vale Lateralmente Não Confinado, retificado, assim como o estilo fluvial anterior, ocorre sobre a grande planície fluvial da bacia do rio Santana, nos depósitos de silte, cascalho, argila e conglomerados polimíticos presentes no Gráben do Santana. São segmentos de canais em vales lateralmente não confinado, contudo, as margens do canal são confinadas por margens antrópicas, limitando os ajustes laterais do canal, mesmo com um baixo gradiente e a presença de um amplo vale. As obras de engenharia de canalização e retificação, induzem um caráter de baixa sinuosidade e desconectada da antiga planície de inundação, acelerando os processos de transferência de água e sedimento, e dificultando os processos de deposição. Essa configuração resulta em unidades geomorfológicas (intracanal) como barras laterais e ilhas, induzidas pela posição do talvegue

e fora do canal e feições como níveis de terraço fluvial, meandros abandonados e canais preenchidos, resultantes da desconexão das antigas planícies.

4.2. Tipos de bloqueios e a relação com a Área de Captação Efetiva

A área de captação efetiva (ACE) da bacia foi mapeada a partir da identificação dos principais tipos de bloqueios (laterais e longitudinais aos canais fluviais) na bacia do rio Santana, considerando a sua resistência aos eventos de chuva (Figura 6 e Tabela 3).

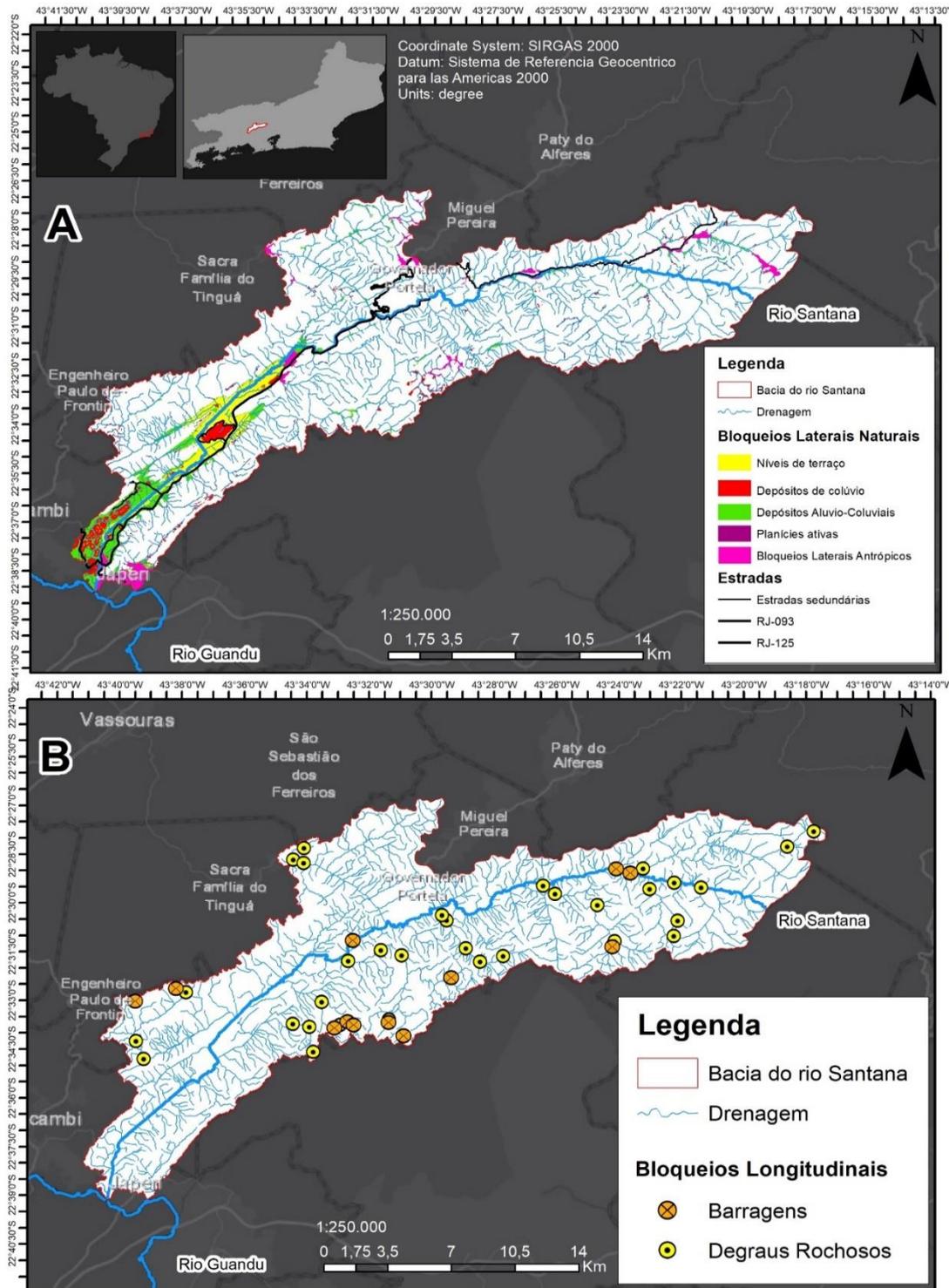


Figura 6. Principais bloqueios identificados na bacia do rio Santana. (A) Bloqueios na dimensão lateral ao canal fluvial. (B) Bloqueios na dimensão longitudinal ao canal fluvial.

Tabela 3. Identificação dos tipos de bloqueios laterais e longitudinais aos canais fluviais e a sua resistência em função da magnitude dos eventos de chuva.

Bloqueios Laterais (<i>Buffers</i> / Zonas tampão)					
Buffers	Tipo	Baixa Magnitude	Moderada Magnitude	Alta Magnitude	Descrição
Depósitos Colúviais	Natural	Desconectado	Desconectado	Conectado	Feições deposicionais de origem colúvial
Terraços	Natural	Desconectado	Desconectado	Conectado	Feições deposicionais de origem aluvial
Depósitos Alúvio-colúviais	Natural	Desconectado	Desconectado	Conectado	Feições deposicionais de origem mista
Planícies Aluviais	Natural	Conectado	Conectado	Conectado	Planícies de inundação ativas
Estradas	Antrópico	Desconectado	Conectado	Conectado	Áreas impermeabilizadas e com quebra de declividade e direção de fluxo
Áreas Urbanas	Antrópico	Desconectado	Desconectado	Conectado	Áreas impermeabilizadas, sem a presença de vegetação e/ou solos
Bloqueios Longitudinais (<i>barries</i> / barreiras)					
<i>Barries</i>	Tipo	Baixa Magnitude	Moderada Magnitude	Alta Magnitude	Descrição
Barragem (PCH)	Natural	Desconectado	Desconectado	Desconectado	Estrutura antrópica resistente, que impede o fluxo de água e sedimentos
Degrau Rochoso	Antrópico	Desconectado	Conectado	Conectado	Mudança no nível de base local, que impede o fluxo de água e sedimentos

A classificação dos bloqueios como Conectado/Desconectado (tabela 3) foi baseada na resistência destes bloqueios aos eventos de chuva (a partir da literatura) e dos parâmetros e classes de chuva adotados. As formas que atuam como de bloqueios de água e sedimentos e que resistem a um determinado evento de chuva, são considerados desconectados. Já as formas (bloqueios) que se rompem a um determinado evento de chuva e já não podem mais conter os fluxos de água e sedimentos, foram considerados como conectados.

Os bloqueios identificados na dimensão lateral ao canal fluvial e caracterizados como zona tampão (*buffers*) foram as feições deposicionais de origem colúvial e/ou aluvial (Figura 6A). Dentre as feições de origem colúvial, os bloqueios com maior frequência foram os depósitos de sopé de encosta e as cabeceiras de canais preenchidas (*hollows*). Os bloqueios relacionados aos depósitos aluviais foram os níveis de terraços e planícies fluviais. Além destes depósitos, as estradas primárias e secundárias foram consideradas as principais zonas tampão do tipo antrópico na (des)conexão lateral da bacia. Dentre as principais estradas foram identificadas a RJ-125 e RJ-093, que são pavimentadas, além de diversas estradas secundárias que alteram os fluxos de escoamentos superficial encostas-canal (Figura 6A). Na dimensão longitudinal aos canais fluviais, como bloqueios do tipo barreiras (*barrier*) foram identificados os degraus rochosos/soleiras (*knickpoints*), configurando diferentes níveis de base locais que influenciam na transferência de sedimentos a jusante ao canal e na acumulação de sedimentos a montante (Figura 6B). Já a principal barreira antrópica identificada na área da bacia são as barragens do tipo PCH (Pequenas Centrais Hidroelétricas): construções resistentes ao fluxo, controlam a vazão dos canais e impedem a transferência de sedimentos na dimensão longitudinal (Figura 6B).

Os dados de chuva e a definição das classes de chuva podem ser observados na Tabela 1 e foram definidas como: de baixa, moderada e alta magnitude. A partir da série histórica de 35 anos dos dados de chuva da estação Avelar (ANA), foram analisados 3.008 dias de chuva, onde foi possível identificar: chuvas, chuvas efetivas, picos

de chuva anuais, picos de chuva mensais e a periodicidade e magnitude dos eventos extremos de chuva. Dentre os dados analisados na série histórica dos dias de chuva, 64%, foram considerados de chuva não efetiva e apenas 36% como chuvas efetivas. Dentre as chuvas efetivas, houve a ocorrência de 1.060 dias de chuvas efetivas de baixa magnitude, 15 dias de chuvas de magnitude moderada e apenas um dia de chuva de alta magnitude.

A bacia do rio Santana se divide em 10 sub-bacias, compostas por 779 cabeceiras de drenagem. A modelagem da conectividade atual da bacia foi calculada a partir da área de cada polígono (cabeceiras de drenagem) (des)conectados em função da área total da bacia, onde os 779 polígonos equivalem a 100% da bacia.

Assim, a modelagem da área de captação efetiva foi realizada a partir da interpolação dos polígonos dos bloqueios (Figura 6), dos polígonos das cabeceiras de drenagem (Figura 3A) e dos dados de resistência aos eventos de chuva, a partir das três classes de chuvas (Tabelas 1 e 3). Os diferentes tipos de bloqueios foram fundamentais na (des)conexão de cada cabeceira de drenagem e conseqüentemente, da bacia.

5. Discussões: Cenários da conectividade atual

Para compreender a influência que os tipos de bloqueios exercem sobre a transferência de sedimentos e água nos canais fluviais da bacia do rio Santana, foram gerados três cenários levando-se em consideração a Área de Captação Efetiva e as três classes de chuvas (ver Figura 6 e Tabela 1). Para o primeiro cenário de avaliação da conectividade fluvial foi considerado apenas os tipos de bloqueios identificados na dimensão lateral ao canal fluvial, ou seja, a relação encosta-canal (Figura 7). O segundo cenário levou em consideração apenas a presença dos bloqueios na dimensão longitudinal ao canal fluvial, avaliando a relação montante-jusante (Figura 8). Já o terceiro, levou em consideração todos os tipos de bloqueios identificados na bacia, tanto os laterais e longitudinais ao canal fluvial (Figura 9).

No primeiro cenário, a bacia do rio Santana apresentou uma expressiva desconexão das cabeceiras de drenagem pela presença dos tipos de bloqueios relacionados aos níveis de terraço fluvial, áreas urbanas e estradas, principalmente no cenário de chuvas de baixa magnitude (Figura 7A). Essas zonas tampão atuam como impedimentos no escoamento superficial das encostas, desconectando áreas que atuam como fontes de água e sedimento ao canal. Contudo, esses bloqueios apresentam uma baixa resistência aos eventos de chuva, sendo rompidos a partir de eventos de moderada magnitude (Figura 7B). Em eventos de chuva de alta magnitude (Figura 7C), estas têm a capacidade de romper todos os bloqueios identificados (Tabela 3), permitindo que a bacia apresente uma elevada taxa de conectividade, chegando a ser 100% a conexão encosta-canal. Ou seja, a área de conexão efetiva é igual à área da bacia. Nesse cenário, a sub-bacia que apresentou as maiores taxas de desconexão foi a do córrego da Floresta, tendo uma área de captação efetiva que corresponde a 33,9 % da área da bacia em eventos de chuvas de baixa e moderada magnitude e 100% em eventos de alta magnitude, devido à presença de níveis de terraços fluviais, feições deposicionais de encosta e trechos de rios modificados pela retificação. Ressalta-se que a nessa sub-bacia os estilos fluviais são definidos por vales confinados tanto por controles geológicos quanto antrópicos, mas com ocorrência de vales não confinados lateralmente. Os estilos fluviais presentes são Vales Confinados de Cabeceira Suspensa, Vales confinados em Garganta e Trechos lateralmente não confinados retificados. Nesses estilos fluviais, o fluxo de água é mais turbulento devido aos vales serem mais encaixado e com declividades elevadas, onde os ajustes laterais ao canal são bastante restritos, mas favorece os fluxos de água e sedimento na dimensão longitudinal.

Ainda nesse primeiro cenário, a sub-bacia que apresentou maior conectividade lateral ao canal foi do rio Glória, com área de captação efetiva que corresponde a 67 % da área da bacia em eventos de chuvas de baixa magnitude, 94,23 % em eventos de chuvas de moderada magnitude e 100% nos eventos de chuvas de alta magnitude. Essa bacia apresentou apenas bloqueios do tipo zona tampão, que são as estradas secundárias que são rompidas facilmente por chuvas de moderada e alta magnitude. A configuração do rio Glória é semelhante ao córrego da Floresta, porém, apresenta estilos fluviais predominantemente em vales confinados, sendo eles: Vale Confinado com cabeceiras de drenagem suspensas, Vales confinados em garganta e Vales confinados com planícies ocasionais. A presença de bloqueios do tipo zona tampão pouco resilientes aos eventos de chuva e a presença de planícies fluviais ocasionais a jusante aos canais fluviais são algumas das variáveis que influenciam na boa conexão lateral das cabeceiras de drenagem.

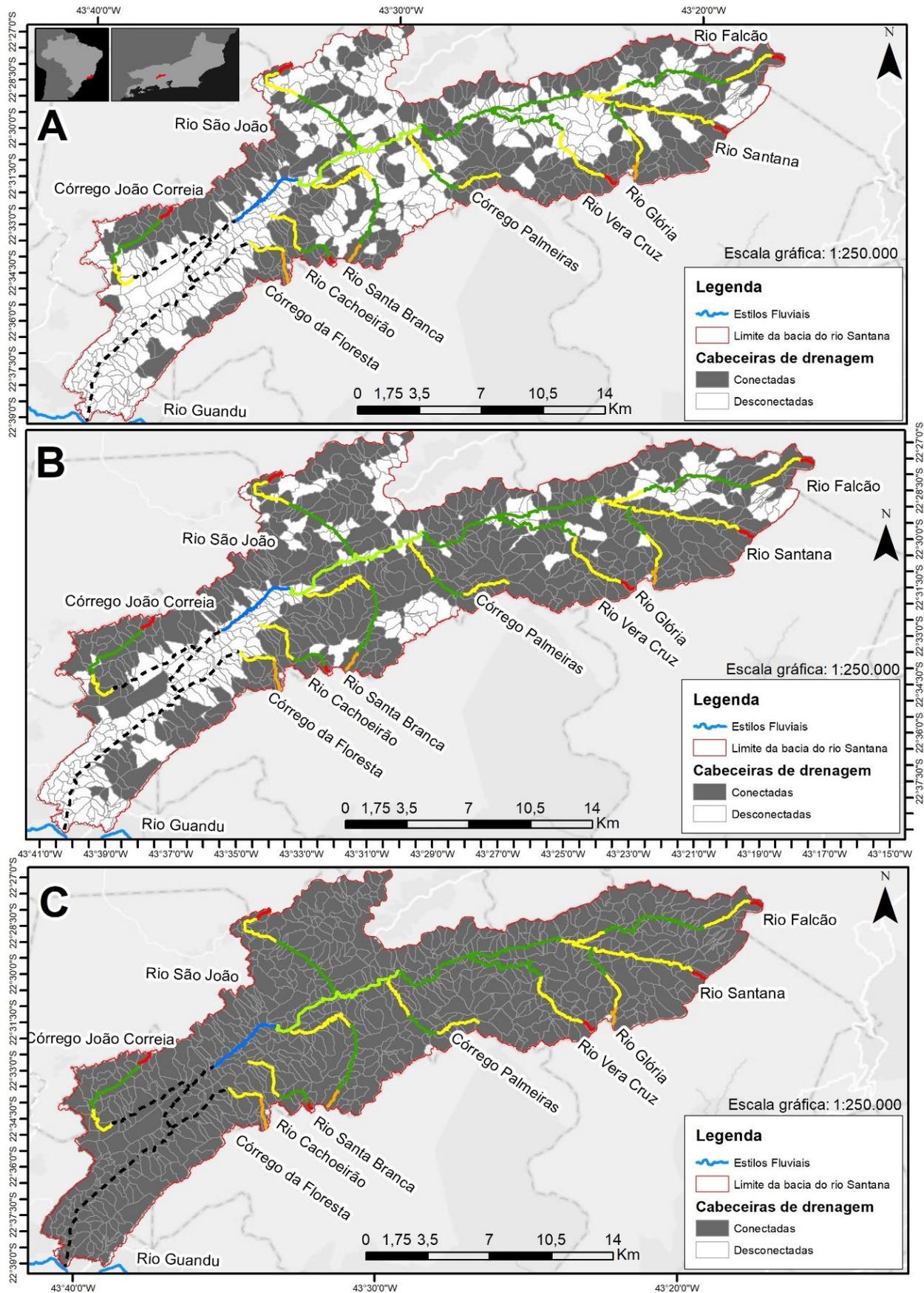


Figura 7. Cenários de conectividade fluvial para a Bacia do rio Santana, considerando apenas a dimensão canal-encosta. (A) Conectividade fluvial em eventos de chuvas de baixa magnitude. (B) Conectividade fluvial em eventos de chuva de moderada magnitude. (C) Conectividade fluvial em eventos de chuva de alta magnitude.

No segundo cenário, observa-se uma relação diferente dos tipos de bloqueios em relação aos eventos de chuva, onde as barragens e degraus rochosos nos canais fluviais se apresentam como bloqueios do tipo barreiras, possuindo maior resistência às chuvas (Figura 8, Tabela 3). A distribuição de água e sedimentos nos canais fluviais em eventos de chuvas de baixa e moderada magnitude (Figura 8 A e B) apresentam as mesmas taxas de conexão na área da bacia. As barreiras do tipo degraus rochosos presentes na rede de canais influenciam na desconexão longitudinal (montante a jusante), sendo rompidas apenas por eventos de chuvas de alta magnitude (Figura 8C). No que se refere às barragens do tipo PCH, a desconexão se mostra ainda mais evidente, sendo estruturas construídas para aguentar os fluxos de água em eventos de chuvas de alta magnitude, onde a vazão do rio Santana é controlada de forma antrópica, através da abertura das comportas. Nesse cenário, as sub-bacias de maior desconexão causada pela ação das barreiras foram as sub-bacias do rio Glória e Falcão, devido a sua posição a jusante das grandes barragens PCH da bacia. A sub-bacia do rio Falcão, apresenta estílos fluviais em vales confinados e com planícies ocasionais (ver Figura 5), o que contribui para a conexão longitudinal do canal. No entanto, a presença de barragens PCH no exultório da bacia, corrobora para desconexão de fluxos de água e sedimentos das suas cabeceiras de drenagem. A sub-bacia do rio Glória, a exemplo do observado no cenário anterior, apresenta configuração que favorece os fluxos de água e sedimentos na dimensão longitudinal aos canais, porém, no seu perfil longitudinal apresenta sequências de degraus rochosos (*knickpoints*) que atuam como bloqueios aos fluxos.

A sub-bacia do rio São João foi a que apresentou as maiores taxas de conexão de água e sedimentos na dimensão longitudinal ao canal fluvial, tendo em vista que a sub-bacia apresenta poucos bloqueios do tipo barreiras. A rede de canais apresenta vales confinados e pequenas planícies ocasionais, além de trechos com margens canalizadas nos perímetros urbanos (ver Figura 5). Esta configuração, associada a pouca influência das barreiras, permite à sub-bacia uma alta conexão longitudinal.

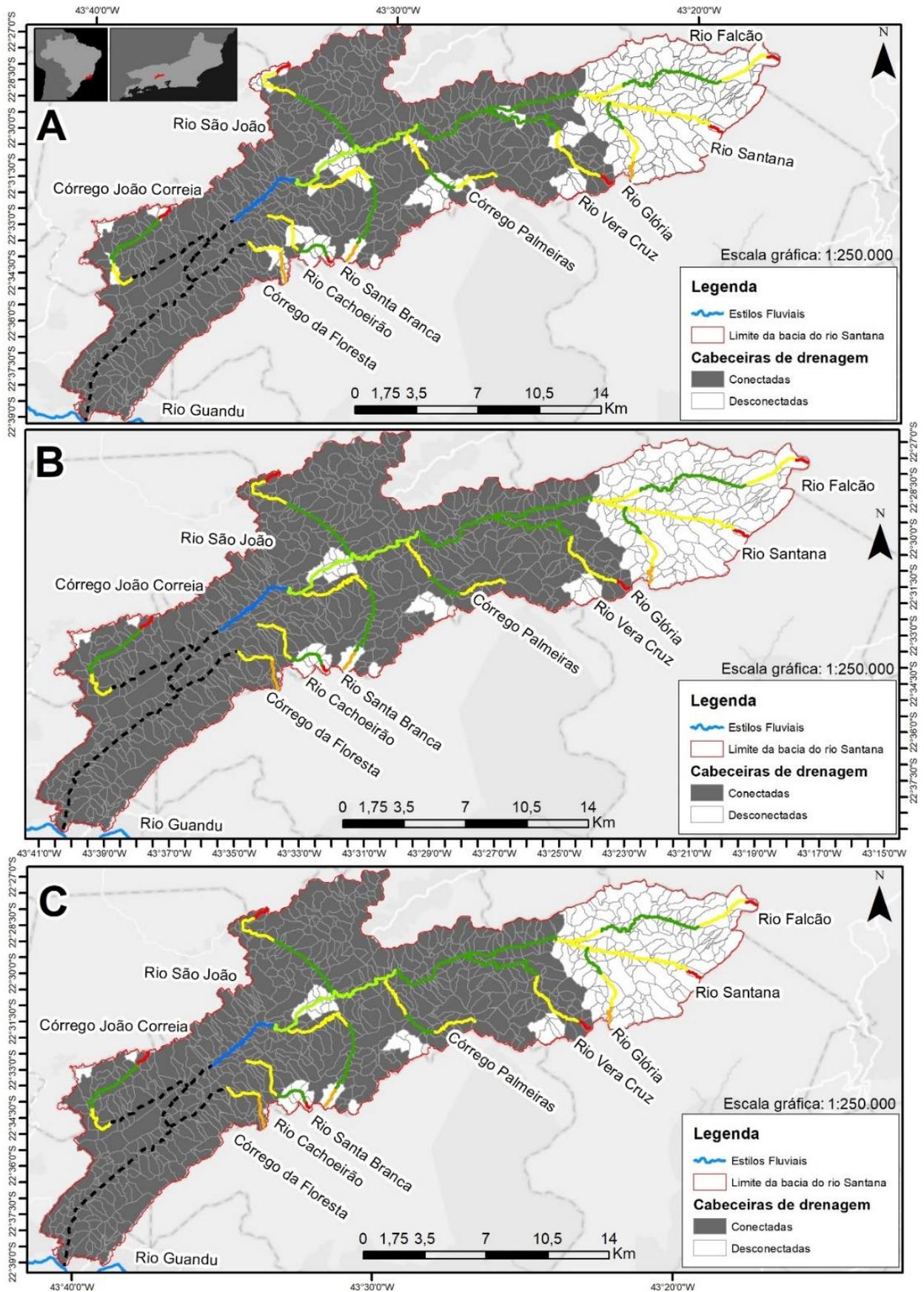


Figura 8. Cenários de conectividade fluvial para a Bacia do rio Santana, considerando apenas a dimensão montante-jusante. (A) Conectividade fluvial em eventos de chuva de baixa magnitude. (B) Conectividade fluvial em eventos de chuva de moderada magnitude. (C) Conectividade fluvial em eventos de chuva de alta magnitude.

Já o terceiro e último cenário está relacionado com a presença de todos os tipos bloqueios (zonas tampão e barreiras) nas dimensões lateral e longitudinal ao canal fluvial (Figura 9). Em função da alta resistência das barragens PCH e dos degraus rochosos nos canais fluviais (*knickpoints*), as sub-bacias dos rios Glória e Falcão foram as que apresentaram maior desconexão com o canal principal, se mantendo desconectadas em eventos de chuvas de baixa, moderada e alta magnitude (Figuras 9A, B e C). Por outro lado, as sub-bacias dos rios Vera Cruz e Palmeiras foram as que apresentaram as maiores taxas de conectividade fluvial, visto que estas são as sub-bacias menos urbanizadas e que apresentam tipos de bloqueios de menor resistência aos eventos de chuva, apresentando alta conexão a partir eventos de chuvas de magnitudes moderadas (Figuras 9B e 9C). Os trechos dos rios caracterizados pelos estilos fluviais em Vale Confinado em Garganta e o Vale Confinado com Planícies Ocasionais apresentaram a mesma relação nas taxas de conectividade fluvial longitudinal e lateral dos canais na área da bacia. Em contrapartida, esses estilos fluviais também foram os que mais apresentaram ocorrência de tipos de bloqueios longitudinais, onde foi registrada a presença de cinco barragens das doze mapeadas nos trechos com o estilo fluvial Vale Confinado com Planícies Ocasionais (duas das três barragens PCH mapeadas) e 25 bloqueios de degraus rochosos (*knickpoints*) dos 32 mapeados em trechos do estilo fluvial Vale Confinado em Garganta.

Em termos comparativos, a análise da conectividade fluvial a partir dos parâmetros geomorfológicos e hidrológicos se mostrou um excelente ponto de partida nos estudos relacionados à conectividade. Esta análise qualitativa da conectividade proporciona um conhecimento amplo da bacia e proporciona um embasamento sólido para estudos quantitativos mais específicos, como de cenários evolutivos da conectividade (SOUZA e CORRÊA, 2020) e/ou modelagens da conectividade de sedimentos (TANGI et al., 2019).

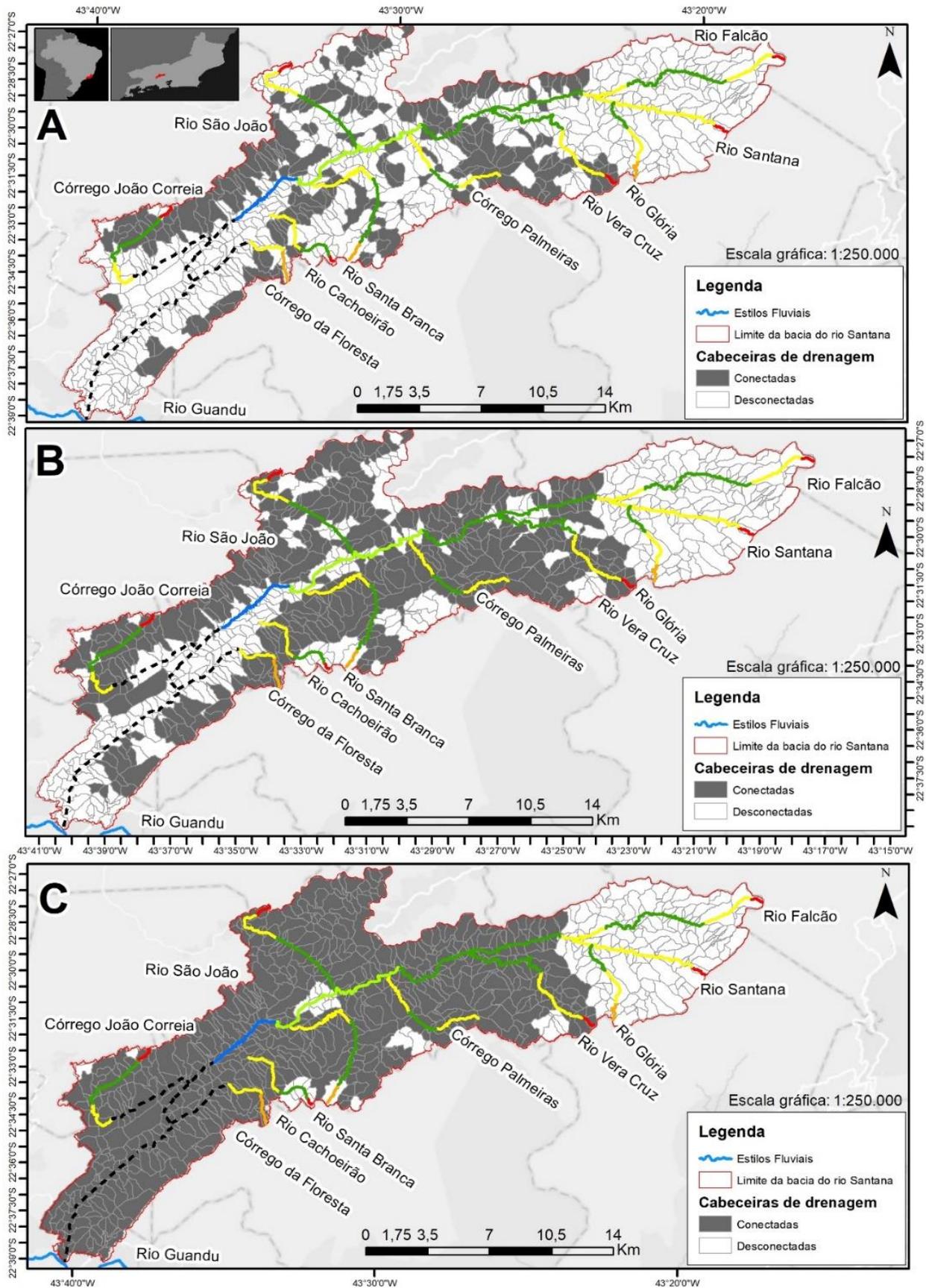


Figura 9. Cenários de conectividade fluvial para a Bacia do rio Santana, considerando apenas as dimensões encosta-canal e montante-jusante. (A) Conectividade fluvial em eventos de chuva de baixa magnitude. (B) Conectividade fluvial em eventos de chuva de moderada magnitude. (C) Conectividade fluvial em eventos de chuva de alta magnitude.

6. Conclusões

Os cenários de conectividade fluvial atual apresentados para a bacia do rio Santana considerou as relações entre os tipos de bloqueios, de chuvas e a área de captação efetiva permitindo observar os diferentes comportamentos na forma de transmissão de água e sedimentos entre as sub-bacias. Assim, observou-se que o arranjo espacial dos elementos de (des)conexão fluvial dão condições diferenciadas aos regimes hidrológicos e sedimentares com produção e vazão própria.

As barragens do tipo antrópicas são os tipos de bloqueios de montante-jusante ao canal que mais desconectam a transferência de sedimentos e água na Bacia do rio Santana. Em eventos de chuvas máximas, de alta magnitude, tem-se a retirada em grande parte de sedimentos das encostas e das planícies fluviais, levando tudo para o exultório da bacia ou nível final de acumulação. No entanto, mesmo diante desse cenário, duas sub-bacias do alto curso (sub-bacias dos rios Falcão e Glória) apresentam-se desconectadas do rio Santana devido à presença das barragens do Anzol e Bambu. A jusante dessas barragens, vários tipos de feições geomorfológicas deposicionais são observadas dentro dos canais fluviais.

Por outro lado, a presença dos níveis de terraço fluvial e os depósitos de origem alúvio/coluvial são um dos principais responsáveis pela desconexão da planície fluvial com as encostas na bacia do rio Santana. Contudo, vale ressaltar que esta pesquisa não trabalhou a relação dessas feições com as taxas de infiltração do solo e as relações de ligação vertical de conectividade. A retificação dos canais não foi incluída como bloqueio lateral nesta pesquisa, porém, ela se mostrou uma variável importante no contexto da avaliação da conectividade fluvial, apesar de ainda receber pouca atenção nos estudos relacionados. A presença dessas obras limita a capacidade natural de ajuste dos canais, desconecta o canal lateral e verticalmente, mas, ao mesmo tempo, pode atuar como impulsor (*boosts*) na conexão longitudinal. As obras de retificação/canalização demandam uma maior atenção nos estudos relacionados à conectividade, principalmente pela sua recorrência no contexto nacional.

Nesse sentido, os resultados mostraram que se pode considerar que as chuvas e os tipos de bloqueios têm papel importante nas respostas à transmissão de água e sedimentos na bacia do rio Santana. No entanto, cabe destacar que a presença dos bloqueios do tipo antropogênicos são os que geram novas morfologias e comportamento dos processos fluviais e, por sua vez, alteram a conexão fluvial montante-jusante e encosta-planície-canal. Tal fato aponta para a necessidade de realização de novos estudos relacionados à dinâmica da conectividade fluvial, no sentido de explicar se esses processos estão sofrendo mudanças recentes ou não. Isso irá permitir ajudar na orientação de planos de manejos adequados e sustentáveis relacionados aos recursos hídricos das bacias dos rios Santana e Guandu.

Contribuição dos Autores: O artigo foi elaborado de forma conjunta. Concepção, OLIVEIRA e MARÇAL; metodologia, OLIVEIRA e MARÇAL; software, OLIVEIRA; validação, OLIVEIRA e MARÇAL; análise formal, MARÇAL; pesquisa, OLIVEIRA e MARÇAL; recursos, OLIVEIRA e MARÇAL; preparação dos dados, OLIVEIRA; escrita do artigo, OLIVEIRA e MARÇAL; revisão, MARÇAL; supervisão, MARÇAL; aquisição de financiamento, OLIVEIRA e MARÇAL. Todos os autores leram e concordam com a versão publicada do manuscrito.

Agradecimento: À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa durante o período de estudos através do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRJ.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. ANDREOLLI, I.; COLLISCHONN W.; TUCCI, C. E. M.; HASS, R.; REGINA, J. V. M. Previsão de vazão afluente a um reservatório utilizando previsão quantitativa de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.11, n.3, p.55-69, 2006.
2. ASMUS, H. E.; FERRARI, A. L. *Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil*. Série Projeto REMAC, n.4, p. 75-88, 1978.
3. BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publications, Oxford, 2005.
4. BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area*, Royal Geographical Society, v. 38 (2) p.165-174, 2006.
5. CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. *Physical Geography: A Systems Approach*. London: Prentice Hall, 370p., 1971.

6. COELHO, F. M.; ANTUNES, J. C. O. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Guandu com a expansão prevista do abastecimento público da região metropolitana do Rio de Janeiro. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **Anais**, Maceió, 2011.
7. DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Serviço Geológico do Brasil. 2000.
8. DUARTE, N. S.; MARÇAL, M. S. Conectividade da paisagem na bacia do rio Sana (RJ): Relação entre áreas de captação efetiva e tipos de bloqueios. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.18, n.4, p. 755-766, 2017.
9. 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, Australia. **Geomorphology**, v.84, 2007 a.
10. FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G.J, PRESTON, N.J., KASAI, M. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. **Catena**, v.70, 2007 b.
11. FRYIRS, K. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2012.
12. FRYIRS, K. A., WHEATON, J. M., BRIERLEY, G. J. N. An approach for measuring confinement and assessing the influence of valley setting on river forms and processes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, n. 5, 2015.
13. FRYIRS, K. A., BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analyses of River Systems**. Wiley Blackwell, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2013.
14. GONTIJO, A., BEZERRA, F. H. R., TERRA, E. L., ALMEIDA, J. C. H. Brittle reactivation of mylonitic fabric and origem of the Cenozoic Rio Santana Graben, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, p. 522-536, 2010.
15. HACKPACHER, C., FETTER, A. H., EBERT, H. D., NEGRI, F. de. A. Magmatismo há ca. 660 – 640 Ma no Domínio Socorro: Registros de Convergência Pré-Colisional na Aglutinação do Gondwana Ocidental. **Revista do Instituto de Geociência**, USP, São Paulo, v. 3, p. 85-95, 2003.
16. HARVEY, A. M. Effective timescales of coupling within fluvial systems. **Geomorphology**, 2002.
17. HEILBRON, M.; DUARTE, B.P.; VALERIANO, C. M.; SIMONETTI, A.; MACHADO, N. & NOGUEIRA, J. R. Evolution of reworked Paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SE-Brazil, based on U/ Pb geochronology: Implications for paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent. **Precambrian Research**, v. 178, p.136-148, 2004.
18. HOOKE, J. Coarse Sediment Connectivity in River Channel Systems: A Conceptual Framework and Methodology. **Geomorphology**, v. 56, n. 1-2, p. 79-94, 2003.
19. IBGE. **Base Cartográfica Contínua dos Estados do Brasil**. IBGE, 2018. Escala de 1:25.000.
20. IBGE. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro**. IBGE, 2007. Escala de 1:100.000.
21. INEA. **Base vetorial do Estado do Rio de Janeiro**. INEA, 2010. Escala de 1:100.000.
22. LIMA, G., MARÇAL, M.S., CORREA, A.C.B. Landscape evolution of the Salamanca watershed, Araripe Plateau: Insights from a river channel morphological classification. **Journal of South American Earth Sciences**, 107, 2021.
23. MACHADO, S. L., SILVA, S. R., PINHEIRO, G. S., SILVA, C. L. GONTIJO, A.H.F. Knickpoints como indicador tectônico na bacia do rio Santana, Gráben do rio Santana, RJ. 48º Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais**, Porto Alegre, 2016, IBSN: 978-85-99198-13-1.
24. MADEIRA, C. V., BORGHI, L. Estrutura dos Depósitos Sedimentares Quaternários da Bacia Hidrográfica do Rio Santana, Miguel Pereira, Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, UFRJ, V. 22, 1999.
25. MARÇAL, M.S., BRIERLEY, G., LIMA, R.N.S. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. **Applied Geography**, vol.84, 2017.
26. MOURA, J. R. S.; PEIXOTO, M. N. O.; SILVA, T. M. Geometria do relevo e estratigrafia do Quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro-Médio vale do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n.3, p. 255-265, 1991.
27. PERH. Relatório Exclusivo do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do rio Guandu, da Guarda e Guandu Mirim. Comitê das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim. 2018.
28. PÖPPL. R.; KEESSTRA, S.; MAROULIS, J. A conceptual connectivity framework for understanding geomorphic change in human-impacted fluvial systems. **Geomorphology**, v.277, p. 237-250, 2017.
29. REED, A. H. Accelerated erosion of arable soils in the United Kingdom by rainfall and run-off. Geography Section. **The Polytechnic**. West Midlands, 1979.
30. SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Cenários evolutivos da conectividade da paisagem em ambiente semiárido- Bacia do riacho do saco, Serra Talhada, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n.1, p. 63-77, 2020.
31. TANGI, M.; SCHIMITT, R.; BIZZI, S.; CASTELLETTI, A. The CASCADE toolbox for analyzing river sediment connectivity and management. **Environmental Modelling and Software**, v. 119, p.400-406, 2019.

32. VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The River Continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.37, p. 130-137, 1980.
33. WALLING, D. E. Physical Hydrology. **Progress in Physical Geography**, v 6, n.1, p. 122-133, 1982.
34. WOHL, E., et al. Connectivity as an Emergent Property of Geomorphic Systems. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, Issue 1, 2019.
34. ZALAN, P. V. Evolução Fanerozoica das Bacias Sedimentares Brasileiras. In: Mantesso-Neto, V., Bartonelli, A., Carneiro, C.D.R, Brito-Neves, B.B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, 2004, pp562-612.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.