



MAPEAMENTO DOS IMPEDIMENTOS LONGITUDINAIS NA SUB-BACIA DO RIACHO SÃO GONÇALO, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BASTIÕES, CEARÁ

Vanessa Martins Lopes
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Brasil.
wan.martins19@gmail.com

Oswaldo Girão
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Brasil.
osgirao@gmail.com

Jonas Otaviano Praça de Souza
Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Brasil.
jonas.souza@academico.ufpb.br

RESUMO – O ser humano vem interferindo cada vez mais no fluxo hidrossedimentológico dentro dos sistemas fluviais de todo o mundo, criando barreiras de transmissão, os quais são geradoras de impactos de diversos níveis sobre a hidrodinâmica fluvial. Este trabalho objetiva apresentar a atual distribuição de impedimentos longitudinais na sub-bacia do riacho São Gonçalo (bacia hidrográfica do rio Bastiões - CE). A identificação dos impedimentos foi realizada considerando parâmetros pré-estabelecidos, e o mapeamento foi feito através de imagens de satélite do Google Earth Pro e geoprocessamento no ArcGIS 10.8. Por fim, foram realizadas atividades de campo para validação dos dados. Dentre os impedimentos mapeados estão barragens, vias de acesso, canais descontínuos e zona urbana. Concluímos que a maioria dos impedimentos são barragens pequenas e vias de acesso, ou seja, são barreiras de transmissão que não tem sido o cerne da gestão de recursos hídricos, que está voltada para barragens de maior porte.

Palavras-chave: Geomorfologia fluvial; Conectividade; Barragens; Semiárido; Ceará.

MAPPING OF LONGITUDINAL IMPEDIMENTS IN THE SUB-BASIN OF THE SÃO GONÇALO STREAM, BASTIÕES RIVER BASIN, CEARÁ

ABSTRACT – Human beings are interfering more and more in the hydro-sedimentological flow within river systems around the world, creating transmission barriers, which generate impacts at different levels on river hydrodynamics. This paper aims to present the current distribution of longitudinal impediments in the sub-basin of the São Gonçalo stream (Bastiões river basin - CE). The identification of impediments was carried out considering pre-established parameters, and the mapping was done using satellite images from Google Earth Pro and geoprocessing in ArcGIS 10.8. Finally, field activities were carried out to validate the data. Among the impediments mapped are dams, access roads, discontinuous channels and urban areas. We conclude that most impediments are small dams and access roads, that is, they are transmission barriers that have not been the core of water resources management, which is focused on larger dams.

Keywords: River geomorphology; Connectivity; Dams; Semiarid; Ceará.

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo percebe-se o crescimento de barreiras na transmissão de fluxo hidrossedimentológico dentro dos sistemas fluviais, especialmente como fruto da intervenção antrópica, minimizando os chamados rios livres, com plena transmissão longitudinal. Os impactos decorrentes dessas instalações perpassam a dimensão local, alcançando escalas muito mais amplas. Dentro do quantitativo dos impedimentos classificados como longitudinais (barriers), os do tipo “barragens” certamente ganham destaque.

No semiárido nordestino a prevalência das barragens justifica-se pelo déficit hídrico, que requer meios para garantir água para seus diversos usos nos períodos de estiagens prolongadas a partir de lócus de armazenagem. Além das barragens maiores, que desempenham um uso de cunho comunitário, sendo geridas pelos órgãos públicos gestores de recursos hídricos, existem inúmeras barragens de pequeno porte, mais rústicas, construídas muitas vezes de forma autônoma, pelos donos das propriedades nas quais estão inseridas, sem nenhuma fiscalização ou acompanhamento técnico adequado.

Ainda interrompendo o fluxo longitudinal na rede de drenagem, existem também as “barreiras que não são barragens” (non-dam barriers) como as vias de acesso (rodovias pavimentadas, estradas não pavimentadas, passagens molhadas, pontes, etc.). Esse tipo de impedimento é fortemente negligenciado, no entanto, também gera certo grau de impacto na transmissão de fluxo nos sistemas fluviais. Assim, quando se considera os outros tipos de barriers além das barragens que estão regulamentadas, o número é bem maior do que se conhece e, por conseguinte, os impactos decorrentes são ampliados.

Nesse sentido, esse trabalho objetiva apresentar o quadro atual da distribuição dos impedimentos longitudinais na sub-bacia do riacho São Gonçalo, afluente da Bacia Hidrográfica do rio Bastiões (BHRB), sul do estado do Ceará. Para tanto, foram mapeados os seguintes impedimentos na rede de drenagem: barragens grandes, barragens pequenas, barragens muito pequenas, canais descontínuos, vias de acesso (pavimentadas, não pavimentadas, passagens molhadas e pontes) e zona urbana. Observou-se que, na área de estudo, como pressuposto, a maioria dos impedimentos são aqueles que não estão no cerne da discussão sobre recursos hídricos, como as pequenas barragens e as vias de acesso.

CONECTIVIDADE DA PAISAGEM E IMPEDIMENTOS LONGITUDINAIS

A compreensão da estrutura e funcionamento de uma bacia hidrográfica oferece a possibilidade de compreender a dinâmica atual, além de prever comportamentos futuros, diante de possíveis cenários e perturbações. Para tanto a ideia de conectividade e de ligação entre componentes de uma área é bastante pertinente (BRUNSDEN; THORNES, 1979; BRIERLEY, FRYIRS; JAIN, 2006).

O conceito de conectividade da paisagem, está atrelado a ideia de sensibilidade da paisagem proposto por Brunsdén e Thornes (1979). Nesse contexto, os autores abordam a capacidade de resistência do sistema, refletida em sua capacidade de absorver ou não matéria e energia. De acordo com essa capacidade o sistema pode bloquear, atenuar ou propagar os efeitos de um evento de perturbação.

Deste modo, com base na resistência de ligação, (BRUNSDEN, 2001; HARVEY, 2001; BRUNSDEN, 1993 apud SOUZA, 2014), um sistema pode estar: ligado (coupled), desligado (decoupled) ou não ligado (not coupled). No primeiro caso há a livre transmissão de matéria e energia entre os compartimentos do sistema; no segundo, a transmissão é interrompida temporariamente devido à presença de impedimentos que poderão ser rompidos; e no último caso não há ligação entre os compartimentos, em virtude de descontinuidades entre os processos.

A partir do estudo das relações de transmissão de matéria e energia no interior de um sistema, a conectividade da paisagem avalia a ligação intra e entre compartimentos, analisando as relações

espaciais, o comportamento dos fluxos biofísicos e os ajustes do sistema em diversas escalas espaciais e temporais. A conectividade deve ser mantida se as entradas nas zonas fonte das cabeceiras se tornarem saídas no exutório da bacia (HOOKE, 2003; BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007a; BRACKEN et al., 2015).

De acordo com Brierley, Fryirs e Jain (2006) e Fryirs et al. (2007b) a conectividade da paisagem admite ligações laterais, longitudinais e verticais. No primeiro caso, trata-se da relação entre canal e encosta e entre canal e planície de inundação. As ligações longitudinais se referem a interação entre a rede de canais incluindo a relação montante - jusante e tributário – canal principal. Por fim, as ligações verticais estão relacionadas a interação superficial e subsuperficial.

Os impedimentos do fluxo são barreiras de transmissão que atuam interrompendo e/ou dificultando o curso de água, sedimentos e nutrientes em seu deslocamento longitudinal, lateral ou vertical (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007a; 2007b). Tais elementos de desconexão podem ser classificados como buffers, barriers e blankets. Além disso, há elementos que acentuam a conectividade e são denominados de boosters. O tipo e a distribuição dos impedimentos definem a força de ligação entre os compartimentos da paisagem e consequentemente o grau de conectividade (FRYIRS et al., 2007a).

Os buffers são formas que impedem ou dificultam os sedimentos de adentrarem a rede de canais, interrompendo as ligações laterais. Planícies de inundação, leques aluviais e vales preenchidos conservados, são exemplos de impedimentos naturais que atuam como buffers. Barriers são formas que atuam interrompendo as ligações longitudinais, a partir da modificação do nível de base e/ou das características na seção transversal do leito do canal. Barragens, degraus em leitos rochosos e fragmentos lenhosos no leito fluvial, são exemplos de barriers que interrompem em graus distintos a conectividade longitudinal. Os blankets são feições que interrompem as interações verticais, e são controlados pela textura do material do leito, regime de transporte no contexto do canal, e características do solo e regolito, que controlam a hidrologia de encosta e relações de fluxo superficial, subsuperficial e subterrâneo (FRYIRS et al., 2007a; FRYIRS, 2013).

A conectividade da paisagem é trabalhada dentro de uma hierarquia escalar que integra escalas locais, zonais e do sistema. Na escala local, a conectividade é dada em um compartimento interno ou fenômeno dentro do relevo (como na encosta ou no canal). Na escala zonal ela ocorre entre compartimentos ou formas de relevo (como na ligação entre a encosta e o canal). Já na escala do sistema, a conectividade abrange o comportamento da bacia inteira (FRYIRS et al., 2007a; 2007b; SOUZA, 2014).

Os diferentes tipos de ligações refletem a operação de diversos processos em diversas posições e escalas espaciais e temporais. Essas ligações ocorrem com diferentes graus de eficiência, em resposta a eventos de diferentes magnitudes e frequências, o que impacta diretamente na sensibilidade da paisagem (BRIERLEY; FRYIRS; JAIN, 2006; FRYIRS et al., 2007a).

Como visto, no que tange aos elementos de (des) conectividade estes podem ser de ordem natural ou antrópica. Atualmente os impedimentos de origem antrópica vem se destacando, pois, o ser humano vem interferindo cada vez mais no meio natural, e produzindo uma série de barreiras de transmissão que interrompem o movimento de fluxos biofísicos nos sistemas fluviais, minimizando o número de rios de médio e grande porte ditos “livres” de formas de contenção. A construção de barragens, por exemplo, pode interceptar toda a carga sedimentar que circularia pelo sistema, exceto aquela suspensa, fato que resulta no gradual assoreamento da barragem e déficit sedimentar à jusante da estrutura de barramento (FRYIRS et al., 2007a).

Fryirs (2013) salienta que na maioria das bacias hidrográficas os sedimentos levam mais tempo no armazenamento do que no transporte, isso nos leva a reconhecer a importância de conhecer e analisar as formas de impedimento e armazenamento de sedimentos na paisagem. Tais feições além de agir como elementos de desconexão dos fluxos, controlam diretamente a dinâmica sedimentar e hidrogeomorfológica de um sistema fluvial.

Dentro dos tipos de impedimentos longitudinais, as barragens ganham destaque. Apesar da construção das primeiras barragens ter ocorrido há mais de 5.000 anos, a maioria das existentes atualmente foram construídas após segunda metade do século XX, como consequência da economia em desenvolvimento no período pós-guerra (SCHMUTZ; MOOG, 2018).

É difícil quantificar o número de barragens em operação atualmente. No entanto, considerando apenas grandes instalações, segundo classificação e compilação da Comissão Internacional sobre Grandes Barragens (International Commission on Large Dams - ICOLD) no ano de 2020, há quase 59.000 (ICOLD, 2020). Quando se considera o número de barragens de menor porte, esse quantitativo aumenta exponencialmente. Estima-se que há cerca de 16,7 milhões de barragens com reservatórios com área superior a 0,01 ha (LEHNER et al., 2011 apud GIERSZEWSKI et al., 2020).

Os reservatórios são construídos para necessidades específicas da comunidade, mas no contexto de sistema fluvial não afetam apenas as seções inundadas do rio. A magnitude dos impactos decorrentes desse tipo de estrutura dependerá de sua localização, tamanho do reservatório (altura da barragem, volume do reservatório) e do tempo de residência da água, este último especialmente em termos biológicos (SCHMUTZ; MOOG, 2018).

Os principais impactos associados aos reservatórios são: interrupção da continuidade do rio (longitudinal e lateral, migração de organismos, transporte de sedimentos e nutrientes); assoreamento do leito; alteração nos padrões geomórficos do canal; incisão do leito do rio à jusante; mudanças no regime térmico e nas propriedades físico-químicas da água; alteração da troca rio/água subterrânea e fluxo a jusante; redução da biodiversidade e homogeneização de habitats (GIERSZEWSKI et al., 2020; SCHMUTZ; MOOG, 2018).

Enquanto a estrutura da barragem interrompe o transporte de sedimentos, os reservatórios que são formados atuam como coletores de sedimentos. Tais reservatórios diferem dos lagos naturais no que se refere às características hidrológicas, limnológicas e à dinâmica ecológica. Dependendo do seu tamanho e forma, um gradiente hidrológico longitudinal pode se desenvolver desde a barragem (zona lântica ou lacustre) até a montante (zona ribeirinha), apresentando características intermediárias em trechos médios (zona de transição, com características lânticas e lólicas). Enquanto características fluviais são mantidas até certo ponto em pequenos reservatórios, as condições lânticas prevalecem em grandes reservatórios de armazenamento. Sedimentos grossos se depositam na seção ribeirinha do reservatório, enquanto sedimentos finos e matéria orgânica são depositados na zona lacustre (GIERSZEWSKI et al., 2020; SCHMUTZ; MOOG, 2018; CALDERON et al., 2023).

O papel das barreiras de transmissão no interior das bacias hidrográficas é muito mais relevante quando se considera o seu grande quantitativo e diversidade, ultrapassando a visão limitada que alcança apenas as barragens maiores. Panagiotou et al. (2022) em um estudo na Grécia destaca a importância das “non-dam barriers”, ou seja, das “barreiras que não são barragens”. O autor relata que ao se tratar das barreiras de transmissão, sobretudo as menores, elas comumente são negligenciadas, pois há pouco interesse em rastrear e avaliar outras barreiras além das barragens, sendo esta, uma preocupação muito recente e pouco desenvolvida. O autor em questão mapeou mais de 600 barreiras longitudinais pequenas ou não represadas, incluindo açudes, comportas, barreiras baixas, como passagens de bueiros, vaus e rampas e outros tipos de barreiras.

A discussão sobre o papel das barreiras de transmissão na interrupção do fluxo biofísico dentro dos sistemas fluviais é importante pois muitas vezes ainda se toma ações como se essa transmissão ocorresse de maneira livre. Ignora-se o estudo da estrutura do sistema e seu funcionamento totalmente atrelado à impedimentos de fluxos, o que pode gerar um superdimensionamento das infraestruturas hídricas. É primordial considerar a ideia de conectividade da paisagem a fim de aprimorar a gestão hídrica no semiárido (SOUZA; CORRÊA, 2012).

Ademais, é importante lembrar que, quando se trata da gestão e manejo de bacias hidrográficas, o cerne das questões ainda permanece sendo somente a água. De modo geral, ainda não se é considerado e/ou aprofundado os estudos sobre outros elementos físicos do sistema, especialmente

de sedimentos, mesmo diante da importância que o fluxo sedimentar exerce na bacia, inclusive diretamente sobre a disponibilidade, qualidade e aproveitamento dos recursos hídricos (SOUZA; CORRÊA, 2012; SOUZA, 2013; POEPPL et al., 2020).

METODOLOGIA

Além de revisão de material bibliográfico, para a construção deste trabalho foi feita produção de base cartográfica para subsidiar a caracterização das condições físico-ambientais do recorte espacial analisado. Utilizando o software ArcGIS 10.8, além do mapa de localização da área de estudo, foram produzidos os seguintes mapas: Modelo Digital de Elevação (MDE), declividade, geologia e distribuição de impedimentos.

O MDE foi feito a partir de imagens SRTM do projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução espacial melhorada de 30m. O mapa de classes de declividade foi derivado do raster SRTM e classificado segundo a EMBRAPA (2006), que distingue seis classes de declividade do relevo: plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (acima de 75%). Para o mapa de geologia, utilizamos os dados disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na escala de 1: 500.000.

Para a construção do mapa de distribuição dos impedimentos foram utilizadas as imagens de satélite disponibilizadas no Google Earth Pro. Após a identificação e mapeamento dos barriers em toda a sub-bacia os dados foram geoprocessados no ArcGIS. Por fim, foram elencados alguns pontos representativos para a validação dos dados mapeados.

Estabelecemos alguns critérios para identificação das barreiras de transmissão encontradas. Acerca dos impedimentos do tipo “barragens”, optamos por estabelecer uma classificação própria quanto aos tamanhos, definindo três tipos básicos: barragens grandes, pequenas e muito pequenas. Tais tamanhos atendem a escala espacial trabalhada e aos objetivos aqui propostos, e não necessariamente coincidem com outros trabalhos ou definições oficialmente estabelecidas (ver classificações compiladas por Dantas, 2017).

Foram classificadas como muito pequenas, àquelas barragens cuja área do reservatório possui comprimento longitudinal menor que 300 m. Em geral, são construídas de forma rústica, apenas com terra e sem uso de alvenaria, e seu poder de contenção é reduzido. Foram consideradas barragens pequenas, àquelas cujo comprimento do reservatório é menor que 1,2 km. Barragens cujo comprimento longitudinal é um pouco maior que esse valor, mas o reservatório não excede, ou excede minimamente as margens do canal, também foram classificadas como pequenas. Por fim, as barragens com comprimento longitudinal do espelho d’água maior que 1,2 km foram classificadas como grandes.

Á fim de comparação, é importante frisar a definição do ICOLD (2011) para uma barragem grande, que é aquela que:

possua altura de 15 metros (independentemente do volume de água armazenável em seu reservatório) ou também a que possua altura entre 10 e 15 metros desde que tenha capacidade de armazenar mais de três milhões de metros cúbicos de água em seu reservatório. De acordo com esse critério, a altura de uma barragem é determinada pela diferença da elevação de sua crista até o ponto mais baixo da sua fundação.

Acerca dos trechos de canais descontínuos, neste trabalho, consideramos apenas as áreas de canal descontínuo ou ausente com comprimento superior a 1,5 km, pois trechos menores seriam muito pontuais e não exerceriam tanto controle sobre a conectividade da bacia. Sobre as vias mapeadas, apenas foram consideradas àquelas com uma estrutura mais definida, que denotam um maior fluxo de transeuntes, já que existem inúmeras pequenas estradas (“veredas”) de porte

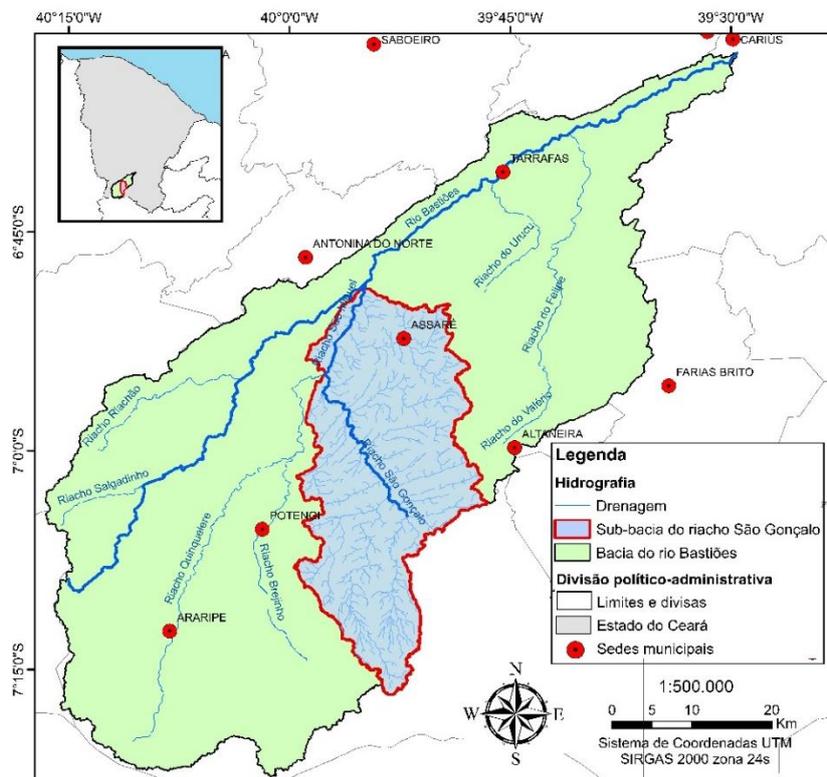
ainda menor. Além disso, não foram mapeadas àquelas localizadas nos trechos iniciais do canal, cuja área de captação efetiva é ainda muito ínfima.

Após o levantamento e produção desses dados foi possível, ter uma visão geral da situação atual das barreiras de transmissão na área de estudo.

Área de estudo

O riacho São Gonçalo, que em seu segmento final recebe o nome de riacho São Miguel, é o canal principal de uma das subunidades da Bacia Hidrográfica do Rio Bastiões (BHRB). Esta por sua vez, está inserida na bacia Alto Jaguaribe, sul do estado do Ceará (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia do riacho São Gonçalo, BHRB-Ceará.

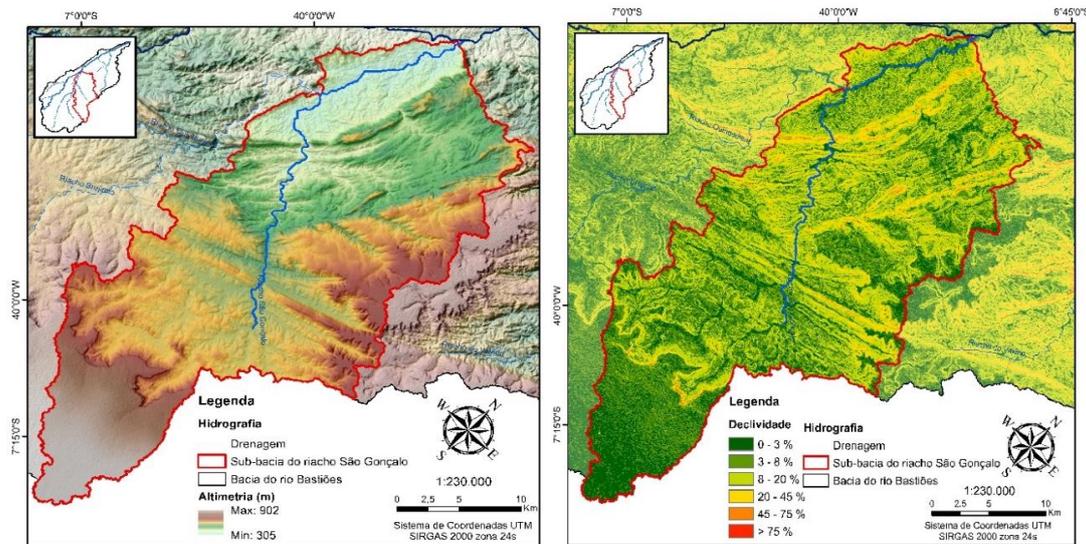


Fonte: Os autores.

Geologicamente, está localizada no domínio geológico-geomorfológico da Chapada do Araripe, um planalto sedimentar elevado de topo tabuliforme; e da Depressão Sertaneja, que representa o domínio das grandes depressões interplanálticas semiáridas do Nordeste Brasileiro, que na área possui cotas altimétricas entre 250 e 550 metros (BRANDÃO; FREITAS, 2014). Destarte, se configura como uma zona de transição de substrato geológico sedimentar-cristalino, o que interfere diretamente nos padrões morfológicos e processuais predominantes da dinâmica superficial.

A área apresenta superfície de topografia dissecada e com alto controle litoestrutural (Figura 2), já que se trata de uma região de dobramentos composta por um complexo de falhas, lineamentos e zonas de cisalhamento com direção preferencial NE-SW (ALMEIDA *et al.*, 1977; BRITO NEVES *et al.*, 1995; MAIA; BEZERRA, 2014).

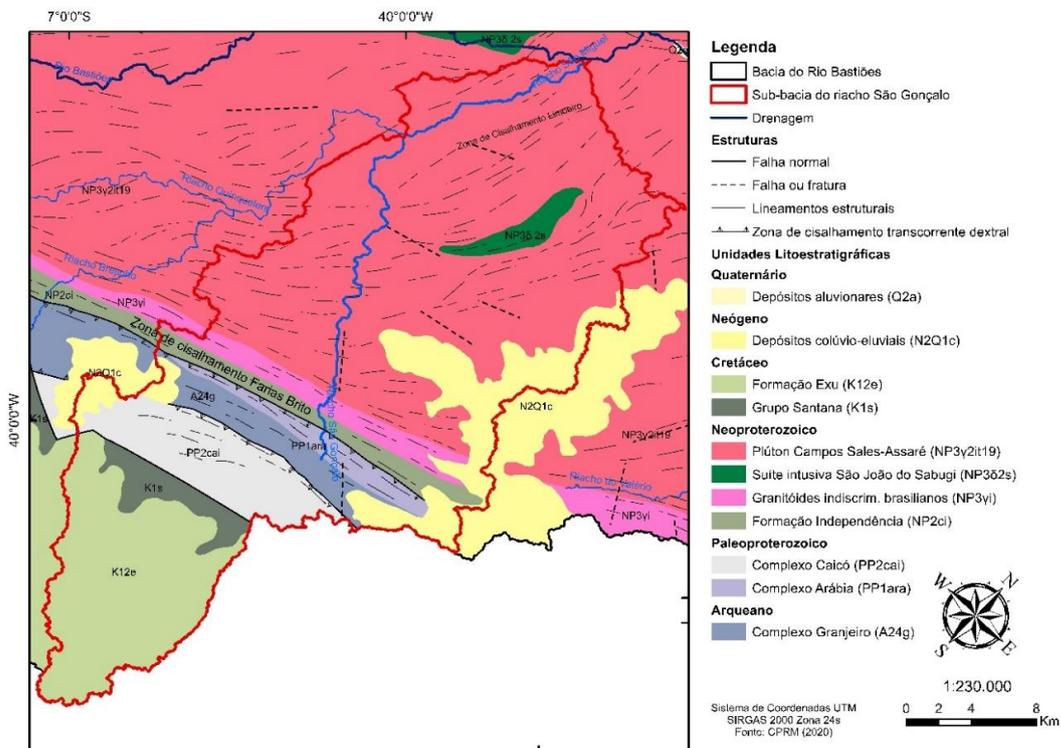
Figura 2. Modelo Digital de Elevação (MDE) e classes de declividade da sub-bacia do riacho São Gonçalo, BHRB-Ceará.



Fonte: Os autores.

As rochas são bastante antigas, a maioria datadas do Proterozóico (Figura 3). O embasamento cristalino pré-cambriano se destaca especialmente, já as coberturas sedimentares mais expressivas estão associadas à Bacia Sedimentar do Araripe ao sul e aos depósitos colúvio-eluviais à leste.

Figura 3. Mapa geológico da sub-bacia do riacho São Gonçalo, BHRB-Ceará.



Fonte: Os autores.

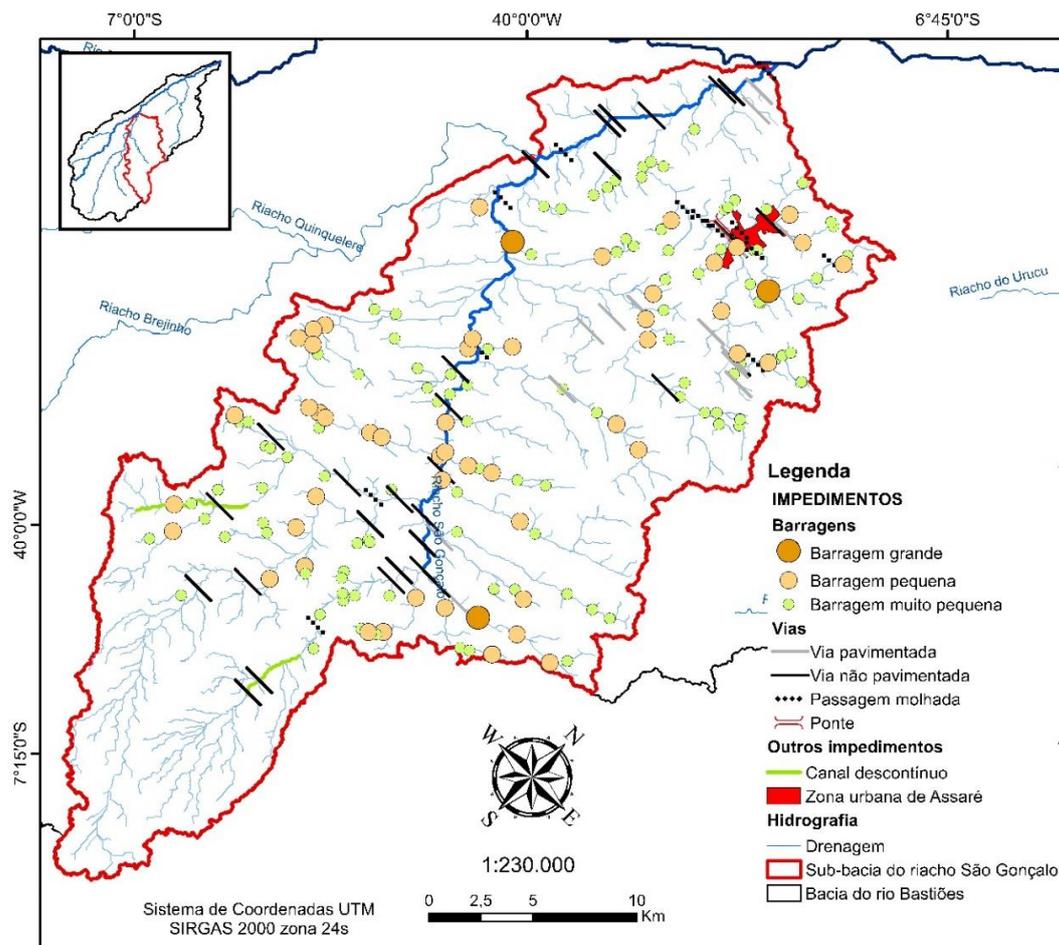
O clima da área é o semiárido, caracterizado pela existência de duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. No sul do Ceará as precipitações se concentram na quadra chuvosa que compreende os meses de fevereiro a maio.

A BHRB, na qual a sub-bacia do riacho São Gonçalo está inserida, possui uma dimensão espacial de 3.568 km² e o rio Bastiões, canal principal, é de 7^a ordem segundo a classificação de Strahler (1952), com 141 quilômetros de extensão longitudinal. Já o riacho São Gonçalo – incluindo o trecho a qual recebe o nome de riacho São Miguel – possui comprimento de 44 quilômetros e uma área espacial de 729 km² representando cerca de 20% da área total da bacia do rio Bastiões.

Mapeamento dos impedimentos longitudinais

Na sub-bacia do riacho São Gonçalo mapeamos os seguintes tipos de impedimentos longitudinais (Figura 4): barragens grandes; barragens pequenas; barragens muito pequenas; trechos de canais descontínuos; vias, que se subdividem em vias não pavimentadas, pavimentadas, passagens molhadas e pontes; e zona urbana. Cada tipo de impedimento exerce um grau de interceptação do fluxo, a depender da sua dimensão e distribuição espacial, aliado ainda à magnitude do evento de perturbação (precipitação-escoamento).

Figura 4. Distribuição dos impedimentos na sub-bacia do riacho São Gonçalo, BHRB–Ceará.



Fonte: Os autores.

As barragens grandes interferem diretamente no transporte longitudinal de carga sólida pela rede de canais da bacia, retendo esse material por longos períodos de tempo, pois em geral, tem caráter permanente. Na ocorrência de eventos de alta magnitude que promovam o extravasamento do fluxo pela barragem, a carga suspensa e dissolvida consegue romper este obstáculo e seguir rio abaixo. Já no que concerne à carga de fundo, esta raramente é removida ou retrabalhada, e só conseguirá transpor esse impedimento em casos onde hajam falhas técnicas estruturais, que causem o rompimento da barragem, ou no caso desta ser espontaneamente removida, fato que não é muito comum.

Na área em questão existem apenas três barragens classificadas como grandes, uma delas, a maior de toda a BHRB: o Açude Canoas (Figura 5), barrando o riacho São Gonçalo. Com capacidade de 69.250.000 m³ - classificada como de porte médio pela SRH (2008, *apud* Dantas, 2017) - a barragem possui altura de 50,6 m, comprimento do coroamento de 121 m e uma área de captação de 549,30 km², sendo responsável pelo abastecimento da população urbana do município de Assaré (ANA, 2016; FUNCEME, 2023). As outras duas barragens assim classificadas são expressivamente menores possuindo as medidas limítrofes definidas neste trabalho para se enquadrar em tal classe.

Figura 5. Vista aérea do Açude Canoas, município de Assaré-CE.



Fonte: COGERH (2023).

As barragens pequenas (Figura 6) também impactam consideravelmente a conectividade da bacia, mas neste caso, a desconexão ocorre de forma fracionada. Assim, considerando que quantitativamente as barragens pequenas se sobressaem, o seu efeito interruptor torna-se potencializado dentro do sistema fluvial. O que ocorre é que os sedimentos que não estão retidos em elevadas quantidades nos fundos das maiores barragens, estão retidos de forma fragmentada nas barragens de menor porte, espalhadas por toda a área. São pelo menos 52 barragens pequenas espalhadas pela sub-bacia, sete delas no canal principal. De modo geral, se concentram na área central e nordeste da área.

As barragens classificadas como muito pequenas, possuem um papel menor no que se refere ao aprisionamento dos sedimentos, devido ao seu tamanho reduzido, logicamente. No entanto, o seu mapeamento nos permite compreender a dimensão da intervenção antrópica na rede de canais, já que foram identificadas 111 barragens desse porte.

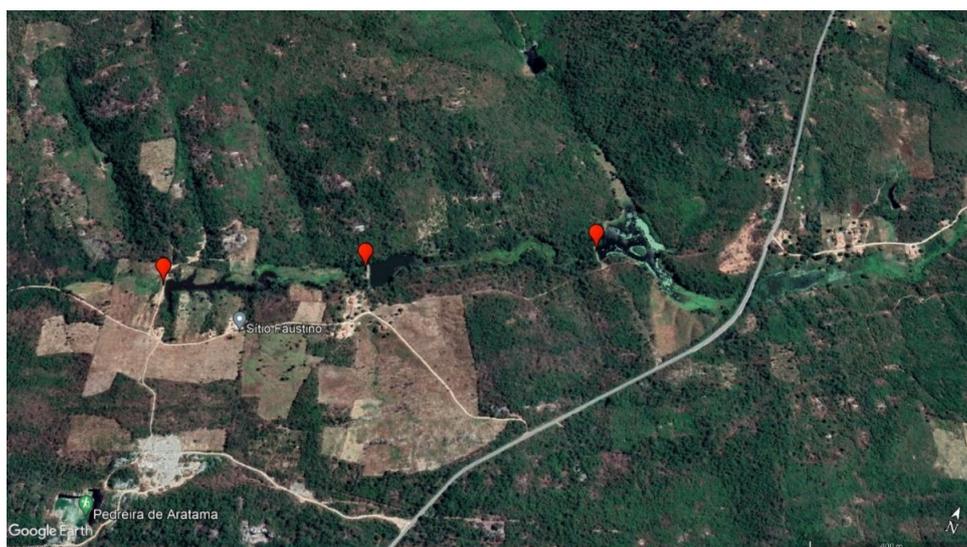
Figura 6. Barragem pequena no riacho São Gonçalo, município de Assaré–CE. Nessa barragem o reservatório é basicamente restrito às margens do canal.



Fonte: Os autores (abril/2021).

Nota-se que em alguns setores foram construídas várias barragens pequenas e/ou muito pequenas em sequência, elevando o grau de desconectividade e aprisionamento de material sedimentar, bem como aumentando o potencial fluvio-lagunar do fluxo naquele trecho (Figura 7). Tal comportamento resulta na formação de depósitos de granulometria fina que podem ser considerados de origem tecnogênica visto que, a sua presença está neste caso, condicionada a intervenção antrópica por meio da construção de barramentos no canal. Na figura 07 o comportamento lântico e os depósitos associados são perceptíveis pela cor esverdeada do espelho d'água, devido a presença de lodo.

Figura 7. Barragens em sequência próximo ao riacho São Gonçalo (Assaré – CE).



Fonte: Google Earth.

Ao se considerar as pequenas barragens tomou-se conhecimento que a Funceme tem realizado uma pesquisa inédita, onde já identificou 89.490 barragens de pequeno, médio e grande porte no estado do Ceará (DIÁRIO DO NORDESTE, 2020), porém, o estudo ainda não foi concluído e/ou divulgado. Além disso, o tema “pequenas barragens” também vêm ganhando destaque na mídia, porém no contexto de como o aumento dessas instalações tem prejudicado a recarga hídrica nos principais açudes do estado e sobre a segurança dessas barragens quanto aos riscos de rompimento (EBC, 2023; G1, 2020). Em ambos os casos o papel dessas estruturas na conectividade da paisagem não é evocado à primeira vista.

Os trechos de canais descontínuos são caracterizados pela ausência ou descontinuidade de um canal inciso, o que causa a dissipação do fluxo. Na área estão associados aos depósitos sedimentares do Planalto do Araripe, localizando-se, portanto, na região sudoeste. Seu padrão morfológico e processual promove a redução da energia de fluxo favorecendo a desconexão e a captura de sedimentos. Exerce importante papel enquanto barreira de transmissão, já que é um impedimento natural que não pode ser removido, e requer eventos de maior energia para o seu retrabalhamento de forma mais severa. Os trechos de canal descontínuo na área possuem entre três e seis quilômetros de extensão longitudinal.

Os impedimentos do tipo vias possuem um impacto de dimensão mais localizada na transmissão de matéria e energia no contexto da bacia. No caso das vias não pavimentadas, destacam-se pelo seu maior quantitativo, e se configuram em estradas de pequeno porte que dão acesso às áreas rurais. Na figura 08, pode-se visualizar um trecho de interceptação da estrada sobre o canal fluvial, onde se observa processos erosivos, dificultando a passagem de transeuntes, que em contrapartida, tentaram resolver temporariamente o problema depositando pedras e outros materiais nos sulcos formados.

Figura 8. Processo erosivo em via não pavimentada em momento de baixa vazão fluvial (Assaré – CE).



Fonte: Os autores (abril/ 2021).

Na sub-bacia do riacho São Gonçalo, pelo menos 30 estradas interceptam os canais, sem contar com estradas menores que devido ao seu menor porte não foram mapeadas. São construídas de forma bastante simples, com o uso de máquinas pesadas e de modo geral não possuem nenhum tipo de pavimentação, com exceção de pequenos trechos em áreas argilosas e/ou de alto declive, onde podem ser revestidas com paralelepípedos para viabilizar o acesso nos períodos de chuva.

O papel dessas estruturas na conectividade local decorre de que, mesmo não sendo uma grande estrutura, a modificação do nível de base e a compactação do solo na área de passagem por transeuntes, veículos e animais, faz com que o fluxo seja interrompido, levando à formação de pequenos depósitos de sedimentos, poças e ao comportamento lagunar em alguns trechos. Tal fato impacta não só o fluxo de água e sedimento, mas biológico, pois as espécies aquáticas não podem circular livremente, e o comportamento lântico-lagunar promove a mudança da biota com a proliferação de plantas aquáticas macrófitas, por exemplo.

Pequenas estradas que interceptam canais fluviais são comuns, e geralmente são àquelas que dão acesso a áreas menos povoadas. Quando o cruzamento ocorre em áreas de maior movimentação, se opta pela construção das passagens molhadas (figura 09) os quais permitem o acesso mesmo em momentos de maior vazão no canal. São pavimentadas geralmente com paralelepípedos e/ou alvenaria e a passagem do fluxo ocorre sob a estrutura, através de tubos de concreto (manilhas) de espessuras variáveis. Na sub-bacia do riacho São Gonçalo foram identificadas 14 passagens molhadas, podendo esse número ser maior, visto a dificuldade de identificação desses impedimentos pelas imagens de satélite, e a impossibilidade de validação de dados de toda a área.

As passagens molhadas exercem um grau maior de desconexão em relação as vias não pavimentadas. Nesse tipo de impedimento a passagem do fluxo deve ocorrer nas manilhas, extrapolando o impedimento nos momentos de média/alta vazão. No entanto, ocorre visível processo de deposição a montante da estrutura, pois geralmente o diâmetro dessa tubulação e a quantidade instalada não é suficiente para permitir a passagem de todo o sedimento, ainda mais quando se considera que há uma carga de fundo bastante grosseira, e momentos onde a velocidade de fluxo tende a agradação.

No que concerne as vias pavimentadas, na área em questão elas interceptam trechos da CE-176 e CE- 388, sendo mapeados 14 pontos de intersecção. Nesses trechos o canal ainda não é muito inciso, devido a menor área de captação efetiva, o que significa menor disponibilidade de sedimentos para retenção. Já as pontes são construídas em trechos onde a vazão é maior e o canal é mais desenvolvido, e ocorrem de forma bastante pontual na bacia. Como a sua estrutura é composta por colunas, permite uma passagem bem maior de fluxo se comparadas às passagens molhadas.

Figura 9. Passagem molhada com fluxo extrapolando a estrutura no riacho São Gonçalo (Assaré- CE).



Fonte: Os autores (abril/2021).

Por fim, o último impedimento mapeado foi a área urbana de Assaré, cujo nível de impermeabilização do solo, dado o menor porte estrutural e populacional da cidade, foi considerado como de nível moderado. O impacto sobre a conectividade ocorre porque zonas urbanas atuam como dispersoras de fluxo, exercendo pressão sobre os canais e interferindo nas taxas de escoamento e infiltração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os impedimentos existentes e a extensão espacial da sub-bacia, vemos o expressivo papel antrópico na alteração da dinâmica natural fluvial, interferindo no livre fluxo dos rios. À primeira instância, considerando os impedimentos de forma isolada, os mesmos parecem exercer um impacto pequeno, no entanto, ao considerar o efeito somativo de todas essas estruturas dentro do recorte espacial analisado, e ao considerar que esta é apenas uma amostragem de uma realidade muito mais ampla, compreendemos que o impacto é muito maior do que se tem percepção inicialmente.

Apesar de ser evocado com mais ênfase o papel das grandes barragens na captação de sedimentos nos sistemas fluviais, há de se concordar que o impacto de barragens menores é tão importante quanto, ainda mais quando se considera que a construção destas é menos, e algumas vezes nem é, regularizada e fiscalizada. Além disso, outros tipos de impedimentos que não são barragens, geralmente não estão no cerne das preocupações na gestão de recursos hídricos. Tal negligência pode ser responsável por impactos socioambientais como fruto da ação cumulativa dessas estruturas nas bacias hidrográficas, que sequer são levados em conta nas discussões e tomadas de decisão.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL / EBC. Ceará: barragens particulares de pequeno e médio portes preocupam. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-04/ceara-barragens-particulares-de-pequeno-e-medio-portes-preocupam> Acesso em: 10 jun. 2023.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Reservatórios do semiárido brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação. Canoas/CE. (2016) Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/semiario/204res/Jaguaribe_Canoas.pdf Acesso em: 25 mai. 2023.

ALMEIDA, F. F. M et al. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste v. 8, 1977, Campina Grande. Anais. [...], Campina Grande: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977. p. 363-391.

BRACKEN, L. J. et al. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 2, p. 177-188, 2015.

BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. Geodiversidade do estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area*, v. 38, n. 2, p. 165-174, 2006.

BRITO NEVES, B. B. et al. O evento Cariris Velho na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 279-296, 1995.

BRUNSDEN, D.; THORNES, J. B. Landscape sensitivity and change. *Transactions of the Institute of British Geographers*, v. 4, n. 4, p. 463-484, 1979.

CALDERON, M.R. et al. Flow regulation by dams impacts more than land use on water quality and benthic communities in high-gradient streams in a semi-arid region. *Science of the Total Environment*, v. 881, p. 163468, 2023.

COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ (COGERH). Comissão Gestora do Açude Canoas e Cogerh avaliam Operação de Alocação 2022.2 do reservatório. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/comissao-gestora-do-acude-canoas-e-cogerh-avaliam-operacao-de-alocacao-2022-2-do-reservatorio/> Acesso em: 15 jun. 2023.

DANTAS, S. P. Açudagem no Nordeste Brasileiro e no Ceará: Estimativa de evaporação do Açude Castanhão em um ano seco. 2017. 196f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DIÁRIO DO NORDESTE. Estudo inédito estima a existência de quase 90 mil barragens no CE. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/estudo-inedito-estima-a-existencia-de-quase-90-mil-barragens-no-ce-1.2969982> Acesso em: 20 mai. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FRYIRS, K. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 38, n. 1, p. 30-46, 2013.

FRYIRS, K. A. et al. Buffers, barriers and blankets: the (dis) connectivity of catchment-scale sediment cascades. *Catena*, v. 70, n. 1, p. 49-67, 2007a.

FRYIRS, K. A. et al. Catchment-scale (dis) connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. *Geomorphology*, v. 84, n. 3-4, p. 297-316, 2007b.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Portal Hidrológico do Ceará. (2023). Disponível em: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/> Acesso em 02 jun. 2023.

G 1. Construção de 60 mil barragens prejudica recarga hídrica nos principais açudes do Ceará. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2020/05/10/construcao-de-60-mil-barragens-prejudica-recarga-hidrica-nos-principais-acudes-do-ceara.ghtml> Acesso em: 10 jun. 2023.

GIERSEWSKI, P. J. et al. Evaluating effects of dam operation on flow regimes and riverbed adaptation to those changes. *Science of the Total Environment*, v. 710, p. 136202, 2020.

HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology*, v. 56 (1–2), p. 79–94, 2003.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Projeto Topodata. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> Acesso em: 04 de jun de 2019.

International Commission On Large Dams (ICOLD). Constitution Statuts. Paris: ICOLD / CIGB, 2011.

International Commission On Large Dams (ICOLD). Síntese Geral. 2020. Disponível em: https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp Acesso em 24 mai. 2023

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro. *Mercator (Fortaleza)*, v. 13, p. 127-141, 2014.

PANAGIOTOU, Aimilia et al. Anthropogenic barriers to longitudinal river connectivity in Greece: A review. *Ecology & Hydrobiology*, v. 22, n. 2, p. 295-309, 2022.

POEPPL, R. E. et al. Managing sediment (dis) connectivity in fluvial systems. *Science of the Total Environment*, v. 736, p. 139627, 2020.

SCHMUTZ, S.; MOOG, O. Dams: ecological impacts and management. In: SCHMUTZ, S.; SENDZIMIR, J. *Riverine ecosystem management: Science for governing towards a sustainable future*, p. 111-127, 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Mapa Geológico do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. Fortaleza: 2020.

SOUZA, J. O. P. Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial – uma revisão de conceitos. *Caminhos de Geografia*, v. 14, n. 46, 2013.

SOUZA, J. O. P. Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido–bacia do açude do saco, Serra Talhada, Pernambuco. 2014. 189f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Conectividade e área de captação efetiva de um sistema fluvial semiárido: bacia do riacho Mulungu, Belém de São Francisco-PE. *Sociedade & Natureza*, v. 24, p. 319-332, 2012.