

# PAPEL DA VEGETAÇÃO COMO INDUTOR A SEDIMENTAÇÃO EM CANAL ARTIFICIAL DE TERRA

<https://doi.org/10.4215/rm2023.e22003>

Silva, R. E. <sup>a\*</sup> - Rodrigues, S. C. <sup>b</sup> - Vieira, A. A. B. <sup>c</sup>

(a) Doutor em Geografia.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4931-353X>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/6877911578948549>.

(b) Doutor em Geografia.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5376-1773>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/0563872406702918>.

(c) Doutor em Geografia.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6807-1153>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/8348357578850883>.

## Article history:

Received 17 January, 2023

Accepted 25 January, 2023

Published 30 January, 2023

## (\*) CORRESPONDING AUTHOR

**Address:** Universidade Federal de Uberlândia, CEP: Santa Mônica, CEP: 38400902 - Uberlândia, MG - Brasil. Telephone: (34) 32394169

**E-mail:** [silgel@ufu.br](mailto:silgel@ufu.br)

## Resumo

O papel biogeomórfico da vegetação tem sido explorado em diferentes contextos com avanços na compreensão da sedimentação e das alterações hidrodinâmicas nos canais e zonas ripárias. Contudo, não estão bem estabelecidas em pequenos canais derivados de terra, os regos d'água, como se desenvolvem estas questões e os usuários dos canais. Nesses casos se percebe uma ambiguidade frente a presença da vegetação com um papel tanto positivo de filtragem, quanto problemático pela competição pelo recurso hídrico. Este estudo verificou se o desenvolvimento da vegetação é o principal redutor do transporte de sedimentos em suspensão ao longo do canal artificial em comparação ao sistema fluvial natural, se atentando ao papel da vegetação como filtro da carga sedimentar. Foram realizados monitoramentos de cenários, conforme crescimento da vegetação, com dados da vazão, velocidade dos fluxos e turbidez sendo relacionados estatisticamente. Nos resultados o canal natural apresentou a vazão como principal influência, já a vegetação foi o principal elemento sobre o sistema artificial. A vegetação, funcionando como filtro de sedimentos na estação chuvosa, é retirada na estação seca devido à redução das vazões e a evapotranspiração. Entende-se que a vegetação precisa ser abordada como parte do processo de gestão dos canais, permitindo aos usuários índices favoráveis de turbidez e menores riscos de rompimento das estruturas, bem como a formação de extensores dos habitats fluviais e ripários na estação chuvosa.

**Palavras-chave:** Sucessão Biogeomórfica; Antropogeomorfologia; Canais Abertos Artificiais; Sedimentação; Hidrogeomorfologia.

## Abstract / Resumen

### ROLE OF VEGETATION INDUCING SEDIMENTATION IN AN ARTIFICIAL EARTH CHANNEL

The biogeomorphic role of vegetation has been explored in different contexts with advances in the understanding of sedimentation and hydrodynamic changes in channels and riparian zones. However, it is yet to be better established regarding their role in small earth-derived canals water gullies, the development of these issues, and canal users. These cases present some ambiguity based on the presence of vegetation with both a positive filtering role and a negative role due to competition for water resources. This study verified whether vegetation development has more prominent role as reducer of the transport of suspended sediments along the artificial channel than the natural river system, focusing on the role of vegetation as a filter of the sedimentary load. We monitored the scenario in terms of vegetation growth by gathering statistically related data on discharge, flow velocity, and turbidity. Our results indicate the main influence of the natural channel flow since the vegetation was the main element of the artificial system. The vegetation, functioning as a sediment filter in the rainy season, is removed in the dry season due to lower flows and evapotranspiration. We understand that vegetation should be addressed as part of the channel management process, providing users with favorable turbidity indices and lower risks of structures breaking, as well as the formation of extenders of fluvial and riparian habitats in the rainy season.

**Keywords:** Biogeomorphic Succession; Anthropogeomorphology; Artificial Open Channels; Sedimentation; Hydrogeomorphology.

### PAPEL DE LA VEGETACIÓN COMO INDUTOR DE LA SEDIMENTACIÓN EN UN CAUCE ARTIFICIAL DE TIERRA

El papel biogeomórfico de la vegetación ha sido explorado en diferentes contextos con avances en la comprensión de la sedimentación y los cambios hidrodinámicos en canales y zonas ribereñas. Sin embargo, no están bien establecidos en pequeños canales derivados de la tierra, cárcavas de agua, cómo se desarrollan estos problemas y los usuarios del canal. En estos casos, se aprecia una ambigüedad en la presencia de vegetación tanto con un papel filtrante positivo como con un papel negativo debido a la competencia por los recursos hídricos. Este estudio verificó si el desarrollo de la vegetación es el principal reductor del transporte de sedimentos en suspensión a lo largo del cauce artificial en comparación con el sistema fluvial natural, prestando atención al papel de la vegetación como filtro de la carga sedimentaria. Se realizó un monitoreo de escenarios, de acuerdo al crecimiento de la vegetación, relacionando estadísticamente los datos de caudal, velocidad de caudal y turbidez. En los resultados, el cauce natural presentó el caudal como principal influencia, ya que la vegetación fue el elemento principal sobre el sistema artificial. La vegetación, que funciona como filtro de sedimentos en la época de lluvias, es removida en la época seca debido a la reducción de los caudales y la evapotranspiración. Se entiende que la vegetación debe ser atendida como parte del proceso de manejo del cauce, permitiendo a los usuarios índices de turbidez favorables y menores riesgos de rotura de estructuras, así como la formación de extensores de hábitats fluviales y ribereños en época de lluvias.

**Palabras-clave:** Palabras clave: Sucesión Biogeomórfica; Antropogeomorfología; Canales Abiertos Artificiales; Sedimentación; Hidrogeomorfología.

## INTRODUÇÃO

A sucessão biogeomórfica, cravada pela inter-relação entre fluxos, carga sedimentar e vegetação, é uma importante variável da evolução do modelado terrestre, repercutindo no canal fluvial, na zona riparia (CORENBLIT, 2007; RODRIGUEZ-GONZALEZ et al, 2022), alterando mesmo as conectividades superficiais da vertente até o fundo de vale (HUPP, 1986; STEIGER; GURNELL, 2002; LEE; SHIH, 2004; GURNELL et al. 2012; CHENG ZHANG et al. 2022). Tomando os canais fluviais, para Dawson et al (2022), a vegetação tem papel como parte da engenharia fluvial, ainda que se admita que estas sejam relações de retroalimentação, questões observadas nas alterações das formas dos canais e suas dinâmicas, como proposto por Lelpi et al (2022). Acompanham este raciocínio Tánago et al (2021) apontando que a vegetação exerce controle sobre as dinâmicas fluviais, repercutindo também nas formas dos canais e suas adjacências, a partir da sua resistência ao caudal, formação de depósitos e alteração dos fluxos.

No interior das calhas e nas faixas marginais a vegetação também sofre influência do escoamento, como mostraram Merritt et al (2009), em trabalho com modelagem preditiva, a ação humana na mudança das vazões repercute também no comportamento da vegetação associada. Ainda sobre os processos que ocorrem nas calhas, dada sua significância, o tema é investigada desde canais naturais com sucessão natural (GURNEL ET AL, 2006; NEPF; GHISALBERTI, 2008; STOFFEL; WILFORD, 2011; CURRAN; HESSION, 2013; HUAI, 2021), passando por estudos em ambientes com controle antrópico (ADITYA et al, 2010; CHESTER; ROBSON, 2013), os canais artificiais (SABBATINIA et al, 1998; SILVA, 2018; ERRICO et al, 2020), até pesquisas laboratoriais para simular as vegetações em canais de testagens (ROMDHANE, et al 2018; LI et al, 2022).

Diversos estudos têm se voltado justamente para o papel da vegetação como armadilha sedimentar, caso de Noe e Hupp (2009), D'Ippolito et al (2021) e Henriques et al (2021) que abordam essa retenção tanto de nutrientes quanto de partículas. Com o avanço de técnicas computacionais, existem ainda os estudos que realizam simulações a partir de dados obtidos em canais reais (PARHI et al, 2012; LI et al 2022) ou modelagens em canais concebidos digitalmente (ISLAM et al, 2008; VARGAS-LUNA et al, 2015; TANG et al, 2014), ainda que, como sugerem Ferreira et al (2021), seja desafiador conciliar os métodos voltados a modelagem em canais, dados as informações necessárias a calibragem.

De fato, os dados de entrada são complexos, quando se trata dos processos desenvolvidos pela vegetação, o crescimento de caules, hastes e folhas geram obstáculos associados ao aumento da eficiência de retenção do material particulado em suspensão (SHARP; JAMES, 2006; YANG et al, 2021), questões que precisam ser encaradas nos mais diversos contextos geomorfológicos, climáticos e antrópicos. Por exemplo Huang e Nanson (1997), Pu et al (2021) e Zhu et al (2022) indicaram que formações marginais densas e rígidas contribuem para canais estreitos e fluxos concentrados, ao passo que vegetação flexível no interior dos canais é promotora do alargamento das calhas.

Em vias gerais a vegetação promove a redução da velocidade do fluxo, de sua turbulência e potencializa a acomodação de partículas (AFZALIMEHR et al, 2011; SOLER et al, 2021; GIACOMAZZO et al, 2022), bem como alteração no cisalhamento (GHISALBERTI; NEPF, 2004; HUAI, et al, 2012; LI et al, 2014; ZHANG et al 2021). Essa mesma biomassa promove uma proteção as margens e leitos, levando a queda do potencial de remobilização de partículas, repercutindo inclusive sobre o desenvolvimento de formas erosivas em áreas sequentes e assim na evolução dos canais (YEN, 2002; LELPI et al 2022).

Contudo, em ambientes antrópicos, a vegetação assume duas dimensões: primeiro a propagação da massa vegetal interrompe o fluxo, sobretudo em canais de rega, sendo necessária a remoção, objetivando reestabelecer o serviço (CHAYKA et al, 2020). Já em alguns sistemas de transposição, a deposição sedimentar é vantajosa e, portanto, atribui à vegetação o encargo de redução destas partículas (BIGGS et al, 2021; LAMA et al, 2021; ONWUKA et al, 2021), repercutindo em parâmetros como turbidez (SOLER et al, 2021), além da questão ecológica (CHESTER; ROBSON, 2013; MAGELLAN et al, 2021).

Os quadros destes processos seguem diversos e, para além das abordagens apresentadas, é necessário compreender melhor como se dá o controle da sedimentação pelo crescimento vegetativo em canais artificiais que, uma vez associados a cursos naturais e a vertentes, criam uma sucessão

biogeomórfica artificial e controlada por seus usuários que definem o momento de retirada da biomassa conforme equilibram a demanda pelo recurso hídrico (vazão) e a sua qualidade aparente (turbidez). Tsujimoto (1999) e Ciotti et al (2021) lembram que de fato é fundamental o manejo da vegetação quando esta incide sobre dinâmicas fluviais, influências que podem ser consideradas positivas ou não, especialmente sobre a influência de ações humanas.

Assim, sendo válida a ressalva de que estudos sobre vegetação e sedimentação tem sido comumente direcionado a canais naturais, laboratórios e simulacros virtuais (como visto em D'Iappolito et al 2022) esta é uma oportunidade de observar um canal artificial em meia encosta com controle na vazão de entrada, mas subordinado às variações sazonais de carga sedimentar e desenvolvimento vegetativo. Uma vez esclarecidos, estes aspectos contribuirão para uma melhor gestão destes canais, especialmente no entendimento de como os seus usuários podem otimizar as manutenções, a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Este trabalho, portanto, verificou se o crescimento da vegetação invasora e aquática é o principal controlador na redução do transporte de partículas ao longo da calha artificial em pequenos canais de terra. Importa abordar esses canais artificiais de pequeno porte uma vez que estão espalhados pelo mundo todo e são comuns em cabeceiras de drenagens, embora sejam constantemente negligenciados em abordagens acadêmicas e de gestão das águas (SILVA, 2018; RODRIGUES; SILVA, 2020).

O recorte temporal contou com oito meses, nos quais a vegetação foi tomando a seção molhada até o momento do corte, quando do estabelecimento da estação seca e da franca redução do transporte da carga sedimentar. Os processos monitorados oferecem importantes respostas sobre a relação vegetação, canal artificial e seus usuários no contexto da sazonalidade climática, o que pode auxiliar o extensionismo rural, a orientação nos processos de gestão desses canais e no refinamento das legislações que os contemplam.

A secular relação entre os usuários dos canais, responsáveis pela permanência ou retirada da vegetação, construiu um ambiente controlado, representado pelo canal artificial e o sistema de derivação, mas com elementos naturais como o transporte de sedimentos oriundo do canal natural e o crescimento da vegetação. Este cenário constitui uma singular oportunidade de ampliar o conhecimento de sistemas reais e disponibilizá-los para futuras comparações com ambientes totalmente controlados laboratoriais ou virtuais, como aqueles de simulação e modelagem

## MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO E SISTEMA DE DERIVAÇÃO

A bacia escolhida para a aplicação é do ribeirão Taquara (18 km<sup>2</sup> de área), um canal de terceira ordem que se encontra no município de Patrocínio/MG, no sudeste brasileiro, tem sido investigada sob vieses climatológicos, geológicos, pedológicos, geomorfológicos, hídricos e de ocupação (CASSETI, 1971; MACHADO, 2001; GRASSO, 2010; SILVA; ALLAN SILVA, 2012; SILVA, 2018), facilitando a verticalização de discussões sobre processos antrópicos e hidrogeomorfológicos.

O relevo suave, formado por terraços fluviais, permite a intervenção humana na abertura de canais artificiais ao longo da meia encosta. O clima tropical semiúmido, com duas estações bem definidas, contribui para a marcante mudança na paisagem atrelada à variação da disponibilidade hídrica tanto no solo quanto nos canais. Nas encostas os solos são ricos em materiais arenosos, com agricultura moderna e tradicional dividindo espaço com pastagens e silvicultura, potencializando a remobilização de sedimentos

O sistema de derivação escolhido é representativo dos tipos de projetos formados por barramento de transposição, diques marginais e fluxos contínuos, e dos perfis de uso da água, com ocupação marginal dos canais e manutenção realizadas pelo usuário a partir do avanço da vegetação. Os pontos de monitoramento foram definidos em três seções no canal natural e três no canal artificial (Figura 1).

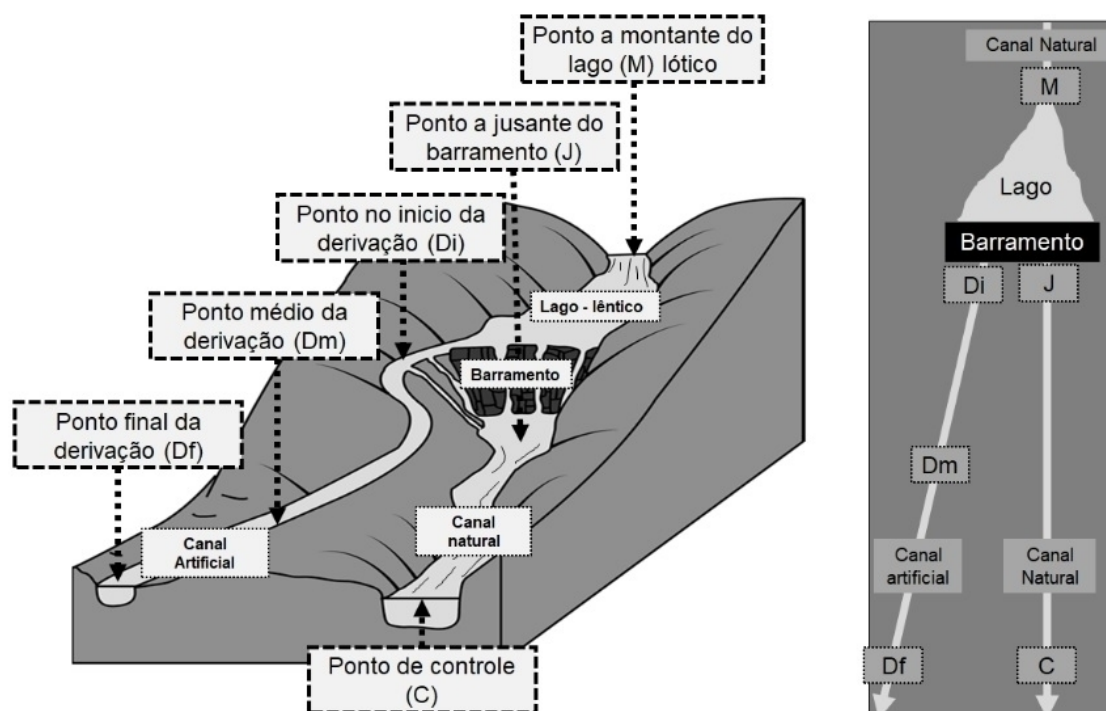


Figura 1 - Pontos de monitoramento dos sistemas de derivação com seções transversais nos canais naturais e artificiais. Onde: M – corresponde ao ponto 1 no canal natural, a montante do barramento de derivação; J – ponto 2 no canal natural a jusante do barramento de derivação; C – ponto 3 no canal natural em sequência ao ponto 2; Di – ponto 1 no canal artificial no início da derivação; Dm – ponto 2 no canal artificial; Df – ponto 3 no final do canal artificial. Fonte: Silva, 2018.

## PLUVIOMETRIA

O monitoramento das precipitações foi realizado com a instalação de três pluviômetros conforme metodologia proposta pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2011), com coleta diária das alturas precipitadas. Como os dados obtidos apresentaram pouca variação, os valores apresentados se referem ao pluviômetro mais próximo a montante do início do sistema de derivação. A série histórica (de 1985 a 2015), para comparação com o ano hidrológico, foi obtida junto a ANA na estação pluviométrica Charqueada do Patrocínio, distante três mil metros da área de estudo, as informações consistidas estão disponíveis pelo HIDROWEB, um sistema de gerência dos dados de monitoramento dos recursos hídricos brasileiros.

## DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E INSTRUMENTAÇÃO PROVISÓRIA

Foram realizados 8 monitoramentos mensais entre outubro de 2015 – início da estação chuvosa – e maio de 2016, quando do estabelecimento da estação seca e primeira retirada da vegetação do canal artificial. A instrumentação provisória, como vista em Lord et al (2009), foi escolhida pela oportunidade de realizar coletas rápidas de dados com diferentes abordagens, fornecendo assim a caracterização dos cenários hidrogeomorfológicos, descritos nos próximos itens.

## FORMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

As formas das seções transversais foram levantadas para entender como os canais poderiam sofrer mudanças ao longo do tempo por processos naturais (erosão, sedimentação, desenvolvimento da



vegetação) e antrópicos (remoção de materiais, gestão do volume de vazão). Os dados foram coletados para largura, comprimento e profundidade do canal, com medições a cada 10 cm, já que os canais artificiais como sendo retangulares possuem em média 1 metro de largura e 50 cm de profundidade. As faixas marginais dos canais também foram observadas e os diques antrópicos tiveram registradas suas formas e medidas.

## MONITORAMENTO DA PROPAGAÇÃO DA VEGETAÇÃO

Para obter o percentual de ocupação da vegetação sobre os canais (mosaico vegetativo fluvial) se seguiu a proposição de Gurnell et al (2012). Nas mesmas seções utilizadas para medição das velocidades foram definidas as áreas com e sem vegetação (Figura y), utilizando uma barra graduada, posteriormente foi debitada da área total do canal a área vegetada (equação 2):

$$(2) A_t - A_v = A_f$$

Onde:  $A_t$  – área total da seção transversal;  $A_v$  – área da seção ocupada pelas hastes, raízes e folhas e  $A_f$  – a área do fluxo livre da vegetação.

Os valores são dados em metros quadrados, e  $A_f = 0$  significa que a água estava circulando em meio a densa massa vegetal. Nessa etapa também foram identificadas as principais espécies vegetais encontradas no interior dos canais, tendo sido utilizada uma câmera de registro subaquático para identificação de possíveis espécies não observadas na superfície e checagem de deposição sedimentar nas estruturas das plantas (Figura 2).

## VELOCIDADE DO FLUXO

A velocidade do fluxo foi necessária para a obtenção da vazão e para o estudo do comportamento hidráulico a partir do crescimento da vegetação no interior do canal. Os dados de velocidade em m/s foram medidos com micromolinete fluviométrico (Global Water BC 1200 - haste graduada). Para obtenção da vazão a velocidade era coletada a cada 10 cm em até três profundidades, sendo a média dos valores obtidos considerada para o cálculo da vazão (Equação 1). Quanto a velocidade no contexto da propagação da vegetação, conforme a figura 2 e com base na experiência de Sand-Jensen (2008), foram realizadas inserções do medidor nas áreas vegetadas e naquelas livres de obstáculos. Nesse caso o canal era seccionado com seções de amostragem espaçadas a 20 centímetros, sendo a velocidade de cada seção sondada a cada 10 centímetros na horizontal e até três níveis na vertical.



Figura 2 - Monitoramento do avanço da vegetação do canal e da velocidade do fluxo em meio ao canal livre e vegetado. A presença da vegetação não significa que a água parou de circular, mas que a dinâmica de fluxo agora opera influenciada por obstáculos como hastes e folhas. Fonte: Silva, 2018

## VAZÃO

Para a vazão, tendo sido obtidas as velocidades do fluxo a vau com o operador efetuando registros via instrumentação provisória (CETESB, 2011), os valores foram associados à área da seção transversal, fornecendo a quantidade de água em deslocamento a cada unidade de tempo (Equação 1).

$$(1) Q = V \times A$$

Onde: Q é a vazão (m<sup>3</sup>/s), V é velocidade (m/s) e A é a área da seção molhada (m<sup>2</sup>). Para canais menores como os deste estudo, a vazão foi convertida para litros por segundo (l/s).

## TURBIDEZ

A redução da transparência de uma amostra aquosa, expressa pela presença de partículas suspensas na coluna d'água, é denominada como turbidez e medida pela nefelometria (N.T.U), um método indireto que determina a intensidade de luz incidida em um ângulo de 90° (CETESB, 2011). As coletas foram realizadas sempre em triplicatas, seguindo metodologia estabelecida por Carvalho (2008) com amostragem realizada verticalmente na coluna de água, sendo analisadas com uso do turbidímetro Alfakit 2000, que permite definir a quantidade de partículas que interferem na passagem da luz na amostra.

## RESULTADOS

Os monitoramentos realizados nos canais natural e artificial, para vazão, velocidade do fluxo, presença da vegetação e turbidez, são apresentados dentro de um intervalo de tempo sem retirada de vegetação no segmento artificial. O ano hidrológico analisado se comportou dentro da tendência da média histórica (Figura 3a), questão importante por permitir balizar o comportamento dos usuários frente ao crescimento da vegetação e a dinâmica hidrossedimentar.

A maior variação sazonal da vazão foi observada nos trechos do canal natural (Figura 3b), com variação acima dos 800 l/s entre o maior e o menor registro. Neste canal foi observado um ganho médio de 33% no volume de água, em um trecho de 1700 metros, do ponto a jusante do barramento (p2) e o ponto de controle (p3). Já no canal artificial, com variação de vazão não ultrapassando 185 l/s, ocorreu uma redução, e não um incremento, da vazão de 89% entre seu ponto inicial e o marco selecionado distante 1655 metros. Quanto a velocidade de propagação dos fluxos dentro das calhas analisadas os registros variaram com mais frequência e amplitude nas seções transversais naturais, com média de 2,35 m/s e pico de 3,1 m/s, enquanto no canal artificial a média foi de 0,59 m/s, com somente um registro acima de 1 m/s (Figura 3c).

Já os materiais em suspensão na coluna d'água, considerando a turbidez, no canal natural e no início do artificial há pouca distância entre a média e valores máximos e mínimos (Figura 3d). Para o segmento médio do canal artificial, a variação é muito pequena com valores de turbidez muito baixos e próximos a média. Já no final do canal artificial, além de uma maior variação nos valores de turbidez, um pico destoante dos demais valores foi observado.

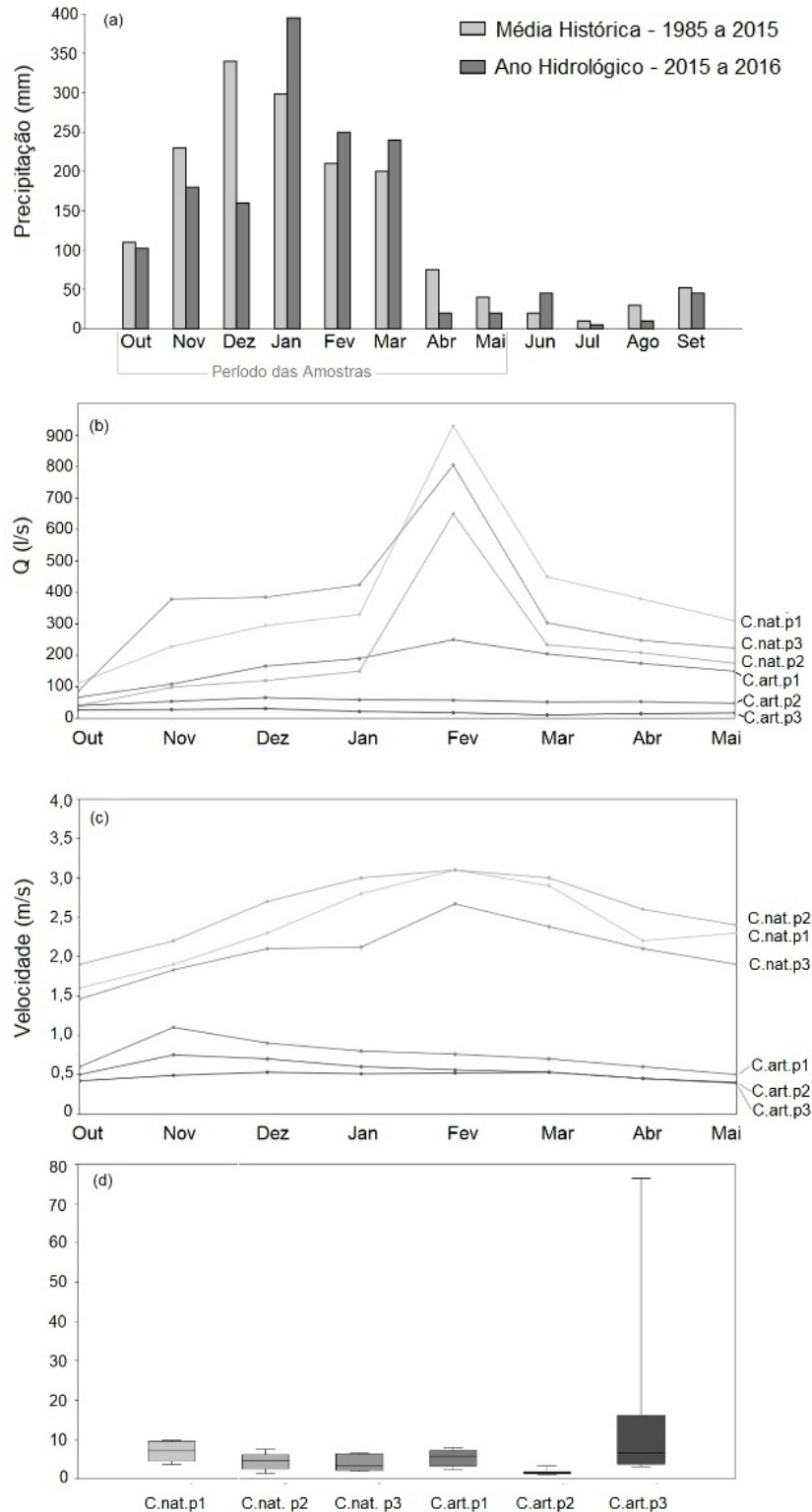


Figura 3 – (a) médias precipitadas entre 1985-2015 e o ano hidrológico 2015/2016; (b) vazões nos cenários levantados entre outubro de 2015 e maio de 2016 para três pontos no canal natural (p1 – antes da transposição, p2 após a transposição e p3 um ponto de controle distante 1700 metros da transposição) e três pontos no canal artificial (p1 no início da derivação, p2 870 metros do início e p3 a 1655 metros do início da derivação); (c) velocidade média nas seções consideradas tanto no canal artificial quanto natural; (d) box plot para turbidez nos mesmos pontos amostrais para vazões.

Para a vegetação, as seções naturais não chegaram a ser completamente tomadas (Figura 4a), máximos valores em 50% de ocupação vegetal e média em 24%, havendo cenários na estiagem com pouca interação entre fluxo e hastes vegetais. No canal artificial, observado na Figura 4b, a condição é distinta com geração de trechos 100% vegetados, com hastes, raízes e folhas permeando os fluxos. O segmento final ficou caracterizado por rápidas e intensas ocupações vegetais, seguidas de bruscas reduções destes percentuais a partir da limpeza do canal por seus usuários.

Entre as espécies vegetais encontradas nas áreas expostas ao sol (Figura 5) são predominantes as gramíneas (destaque a invasora *Urochloa*), com alguma resistência de nativas como pinheiro d'água (*Myriophyllum aquaticum*) e chapéu de couro (*Hydrocotyle*). Já nas áreas sombreadas e mistas foram observados pteridófitas nativas, como samambaias e avencas, além de espécies invasoras como lírios de São José (*Hedychium coronarium*), a taioba (gênero *xanthosoma*) e o inhame (gênero *Dioscorea*). Importante considerar que na estação chuvosa essa vegetação foi observada como refúgio para espécies tanto aquáticas, quando terrestres, desde peixes, anfíbios, reptéis, mamíferos até aves.

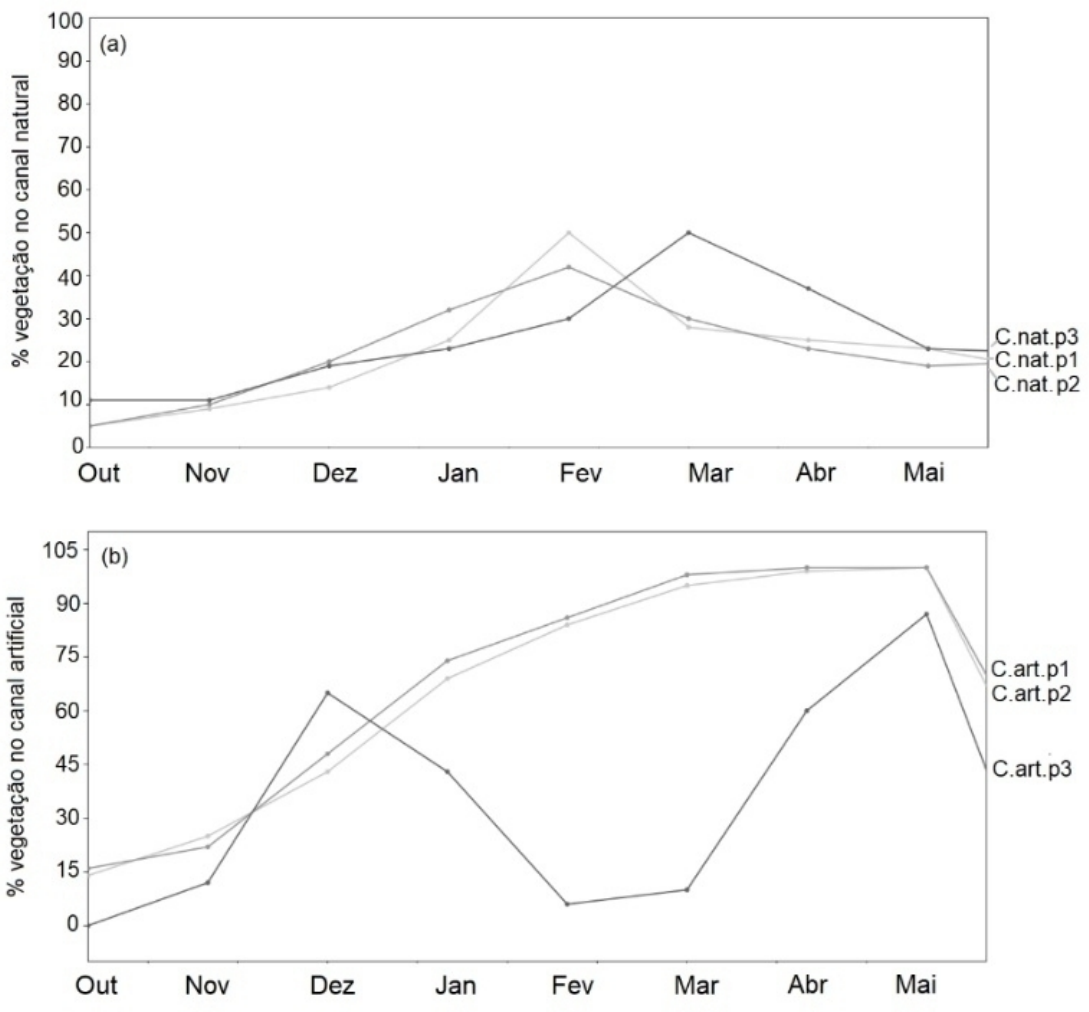


Figura 4 – evolução do crescimento da vegetação com percentual tomado do canal (a) natural nos trechos p1, p2 e p3 e (b) artificial para p1, p2 e p3 pelas hastes, folhas e raízes da vegetação.

Do comprimento total do canal artificial foi selecionado um segmento de 870 metros, com largura e profundidade médias respectivas de 90 e 50 cm, para evidenciar a progressão da vegetação no seu interior (Figura 6). Nos cenários levantados o desenvolvimento da vegetação é intenso com valores alcançando 100% da área em 5 meses. Enquanto isso o percentual da redução da turbidez, entre o início



e o final do segmento considerado, aumentou ao longo dos meses, mesmo em períodos em que os valores de turbidez se elevavam no fundo de vale (canal natural). A espacialização dos dados de velocidade do fluxo livre e em meio a vegetação mostram a redução da velocidade a partir da progressão da vegetação (Figura 7) com diminuição das áreas nas quais o fluxo pode ser considerado livre e laminar em favor de setores com características turbulentas propiciadas pela massa vegetal.

Ainda neste segmento, enquanto a vazão de entrada e velocidade dos fluxos mostraram pouca alteração, os dados do crescimento da vegetação tiveram considerável variação, fato também observado no percentual reduzido da turbidez entre as duas seções de controle do canal artificial (Tabela 1). Contudo, o valor mais significativo do desvio padrão, que indica uma dispersão maior dos dados e enfraquece a representatividade da média, é observado na variação do percentual de redução da turbidez.



Figura 5 – (a) canal artificial tomado por gramínea, chapéu de couro, pinheiro d'água; (b) morfologia do chapéu de couro com hastes longas e flexíveis e folhas emersas; (c) morfologia da gramínea com hastes rígidas e folhas flexíveis; (d) trecho ocupado por inhame criando uma área de sombreamento, tendo somente as hastes rígidas e pontuais em interação com os fluxos; (e) exemplo do canal quase totalmente tomado pela vegetação, principalmente gramíneas; (f) visão superior do canal artificial com hastes e folhas retendo partículas sedimentares; (g) registro subaquático das folhas e hastes com acomodação de partículas em suas superfícies.

Na busca por possíveis equivalências ou proximidades nos comportamentos entre as variáveis levantadas, a análise da magnitude dos coeficientes (Tabela 2) mostra que a velocidade do fluxo no interior do canal artificial se correlacionou negativamente (-0,609) com a vegetação. Já a análise entre velocidade e a vazão revelou uma correlação modernamente positiva (0,593). Quanto à redução da turbidez, é possível observar que esta se correlaciona positivamente pela vazão (correlação fraca) e fortemente afetada pela vegetação (0,895). A vazão pouco se correlacionou com a vegetação, menor correlação observada (0,161), também tendo sido pouco significativa a correlação entre velocidade do fluxo e a redução da turbidez (-0,251)

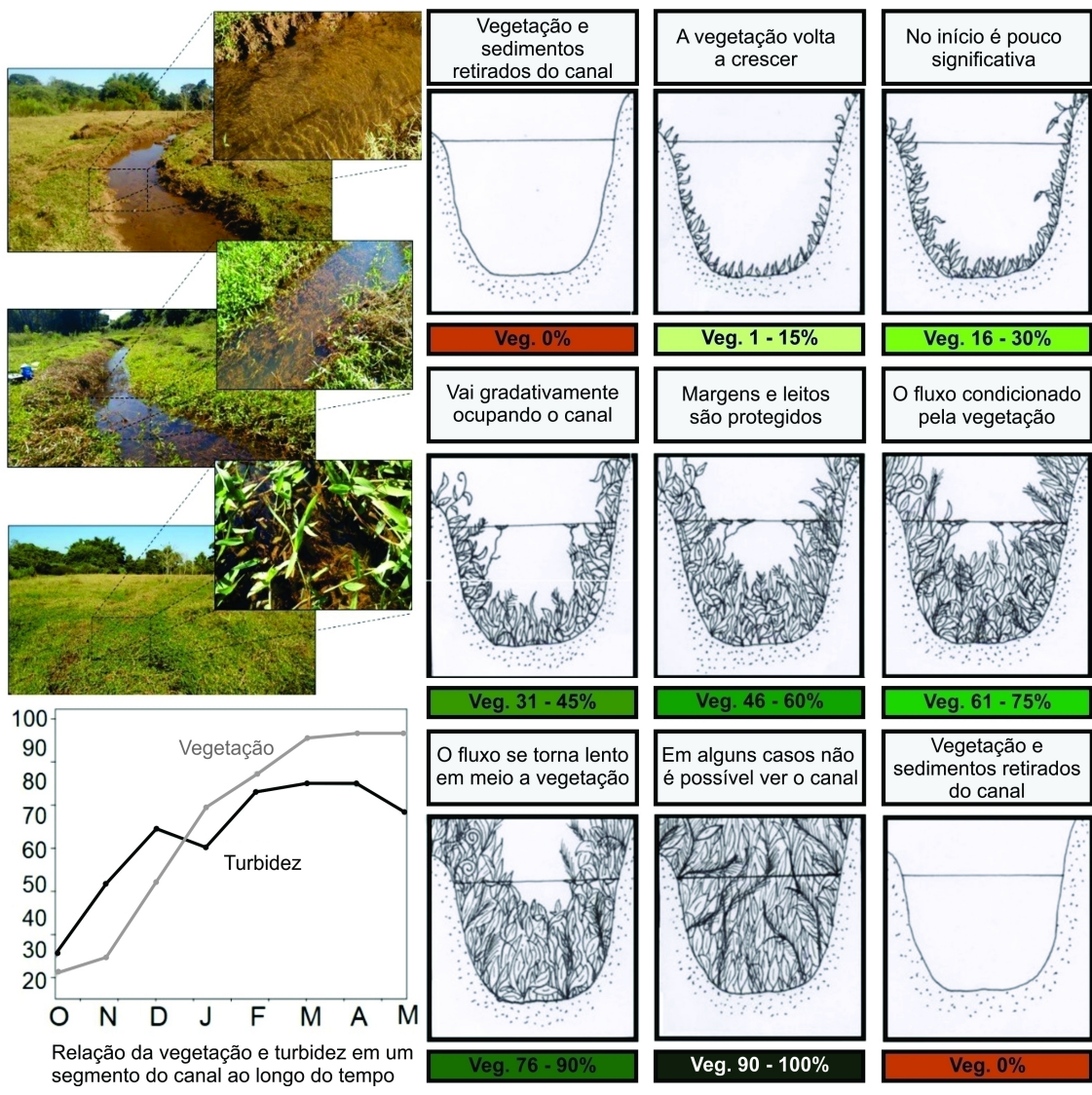


Figura 6 - Comportamento da vegetação, principalmente gramíneas, na tomada do canal em 8 cenários observados entre outubro/2015 e maio/2016, incluso gráfico dos percentuais da progressão da vegetação dentro do canal e da redução de turbidez entre as duas extremidades do segmento considerado.



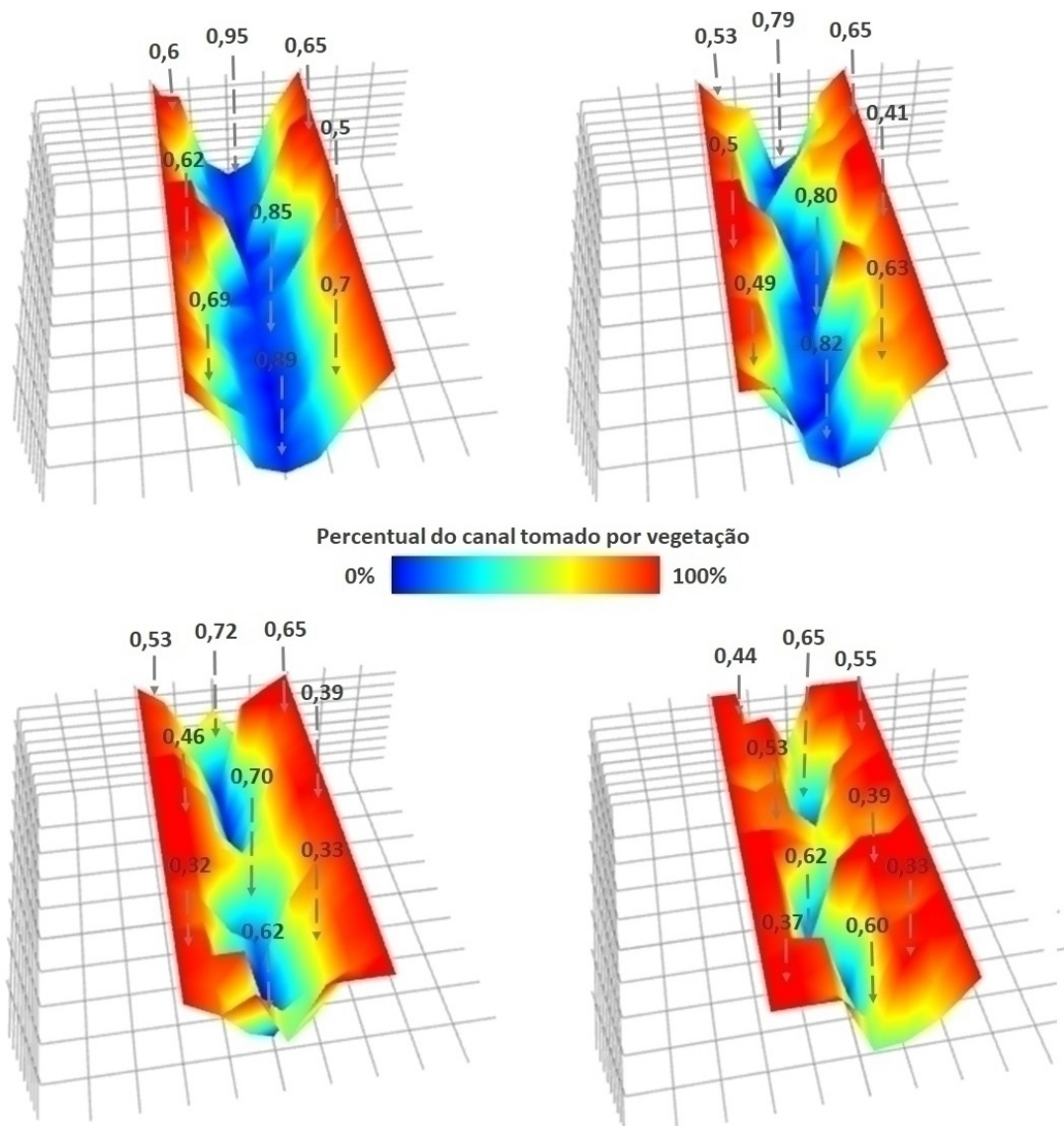


Figura 7 – Distribuição das velocidades médias do fluxo no canal artificial, indicadas pelos valores associados as setas, a partir do percentual de ocupação da vegetação dentro do canal artificial, demonstrado pelas variações das cores, em 4 cenários realizados a cada 60 dias. Assim, conforme a vegetação avança sobre o canal a velocidade do fluxo é reduzida pela mudança de laminar para turbulento.

|          | Veg (%) | Vaz (m <sup>3</sup> /s) | Vel (m/s) | Rd/tur (%) |
|----------|---------|-------------------------|-----------|------------|
| Média    | 68      | 0,053                   | 0,56      | 64,25      |
| Desvio P | +0,34   | +0,0077                 | +0,121    | +20,61     |
| Máx      | 100     | 0,06                    | 0,75      | 82,49      |
| Min      | 16      | 0,04                    | 0,45      | 22,76      |

Tabela 1 - Média, desvio padrão, valores máximos e mínimos de vegetação (Veg), vazão (Vaz), velocidade do fluxo (Vel), percentual, percentual de redução da turbidez (Rd/tur) entre o início e final do segmento considerado.

|        | Veg        | Vaz       | Vel        | Rd/tur |
|--------|------------|-----------|------------|--------|
| Veg    | 1          |           |            |        |
| Vaz    | 0,1613983  | 1         |            |        |
| Vel    | -0,6092792 | 0,5939931 | 1          |        |
| Rd/Tur | 0,8952989  | 0,488254  | -0,2517274 | 1      |

Tabela 2 - Matriz de correlação entre os parâmetros vegetação (Veg), vazão (Vaz), velocidade (Vel) e percentual (Rd/tur) de redução da turbidez no segmento considerado para investigação

Considerando que a turbidez seria a variável mais influenciável pelos outros componentes investigados, foi realizada a regressão linear múltipla (Figura 8), obtendo-se elevado coeficiente de determinação ( $R^2=0,9407$ ). O resultado indica que a variância em y (redução da turbidez) pode ser fortemente atribuída à variância do eixo x (vegetação, velocidade e vazão).

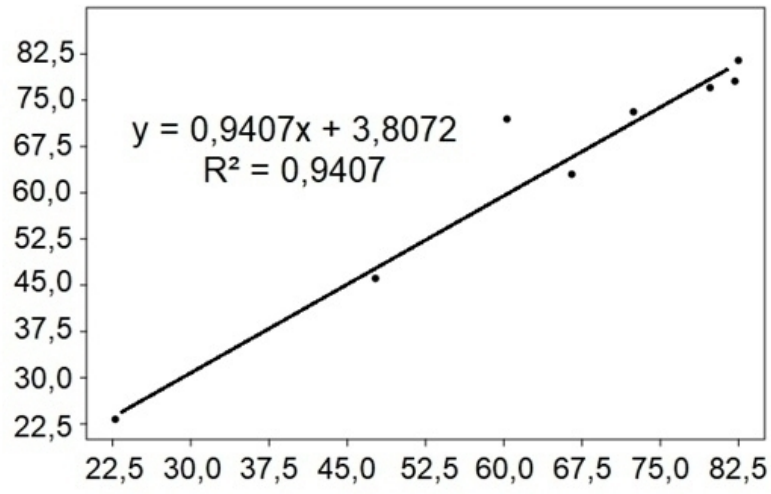


Figura 8 - Regressão multivariada onde a variável dependente Y é a redução da turbidez ao longo do canal artificial e as variáveis independentes x são vegetação, vazão e velocidade do fluxo.

Uma vez conhecido o comportamento no segmento vegetado na calha artificial, foram retomados trechos nos canais natural e artificial plotados em um gráfico exploratório capaz de mostrar tanto atributos como as amostras (Figura 9). No *bi-plot* é evidenciado que a vegetação é fundamental na análise dos comportamentos encontrados no canal artificial, principalmente nos pontos inicial e médio, sendo o terceiro ponto mais associável a turbidez. Já vazão e velocidade dos fluxos são mais associáveis aos trechos do canal natural e sua dinâmica entre corredeiras e poços.

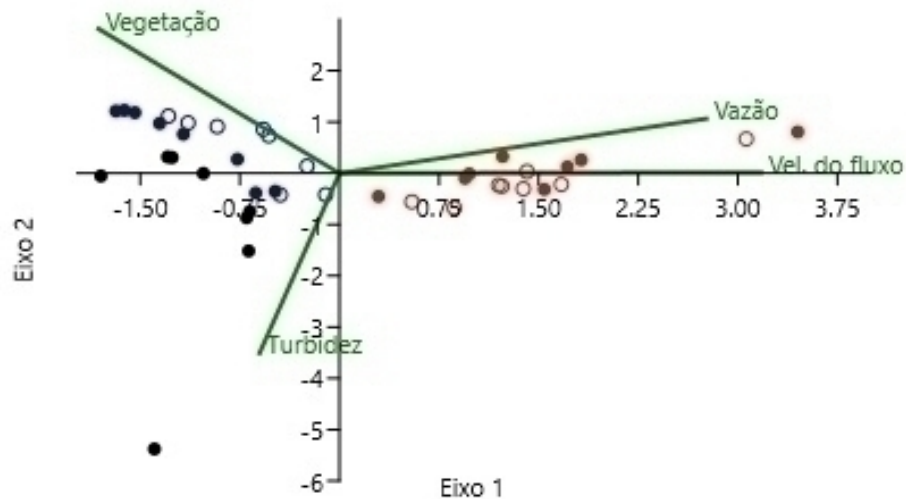


Figura 9 – Bi-plots PCA ilustrando a distribuição de seções transversais em canais naturais (seção anterior a derivação com círculo vermelho, seção de controle com ponto vermelho) e artificiais (seção inicial com círculo azul, seção média com ponto azul e final com ponto preto) em relação a quatro variáveis medidas (turbidez, vegetação, velocidade do fluxo e vazão) para cada um dos oito períodos de amostragem.

## DISCUSSÕES

As análises dos cenários hidrogeomorfológicos obtidos corroboram para a hipótese de que o crescimento da vegetação é central na retenção das partículas suspensas em canais artificiais de terra, sendo necessária sua observação para uma correta manutenção dos mesmos. Contudo é preciso considerar o cenário das precipitações (figura 2a), pois a sazonalidade climática influencia na drenagem (figura 2b), por exemplo, no final da estação seca existe uma maior exposição do solo aos processos erosivos. Como visto em Zhu et al (2018) os solos com menor cobertura vegetal geram maiores escoamento superficial e disponibilizam um maior volume de materiais, questão também apontada por Castro et al (2012) em estudos de áreas sob clima semiúmido, semelhante a bacia de estudo. Os autores apontam que a recuperação da vegetação são fundamentais na atenuação dos fluxos superficiais e acomodação de materiais.

Nesta bacia, como sugere Silva (2018), a retomada da vegetação e das culturas agrícolas e pastagens, no início da estação chuvosa, gradativamente retem sedimentos impactando, por exemplo, na turbidez (3d), ante disso a transição entre os períodos secos e úmidos são marcados pela remobilização de materiais que passam a interagir com as assinaturas topográficas locais (TAROLLI; SOFIA, 2016), exemplificados por estradas, poços de retenção e os canais artificiais. Como lembram Croke e Moclker (2001) e Roy (2022), elementos dispersos nos ambientes podem ter o papel de facilitar ou dificultar a conectividade hidrológica superficial, sendo a vegetação e as estruturas aqui exploradas válidos exemplos desta (des)conectividade. Por outro lado, em trechos do canal natural a vegetação arbórea foi substituída pela pastagem, intensificando conectividades e promovendo caudais mais elevados, como em fevereiro na figura 3b. Questões também observadas por Gurnell et al (2012), Corenblit et al (2014) e Politti et al (2018) que indicam que os rios são fortemente condicionados pela presença da vegetação que medeia e rege os processos relativos a vazão e o transporte de sedimentos, o que tem relação com a evolução das formas dos canais, o relevo fluvial. Neste caso o canal natural foi desfavorecido por um arranjo vegetal secundário e menos impositor de resistência em comparação a sua dinâmica riparia original.

Retomando a questão do canal artificial é importante considerá-lo como estrutura de operação dependente, a vazão de entrada, por exemplo, é controlada pela área da seção transversal que por sua vez



é definida por seus usuários. Ao longo da calha, observa-se a gradativa redução da vazão (figura 3b) promovida pela evaporação, evapotranspiração e infiltração, quando estas estruturas de terra promovem um reabastecimento subterrâneo (BOUWER 1999; HAMED et al 2021). Ainda que se reconheça a complexidade em estimar estas transferências, como defendido por Barkhordari e Shahdany (2022), no canal estudado as reduções das vazões impactam na diminuição da área da seção transversal em 92% entre o início e o final da derivação. As calhas com dimensões menores são mais facilmente tomadas pela vegetação (figura 4b) com consequente interrupção dos fluxos e demandas por manutenções em intervalos menores (SILVA, 2018).

Quanto as velocidades dos fluxos (figura 3c), no canal natural o incremento da vazão e a declividade tornam o fluxo laminar mais eficiente nos processos erosivos e de transporte, a figura 4a evidencia que as margens deste canal são menos ocupadas por vegetação em comparação ao canal artificial (figura 4b). Na derivação, de fato, os fluxos lentos condicionados pela pouca declividade e os obstáculos vegetativos (Figura 5), reduzem a capacidade de transporte, promovendo a sedimentação. Errico et al (2018) apontam que a vegetação gera resistência hidráulica e duas zonas de perfis de velocidade: uma zona de cisalhamento e outra com fluxo livre e rápido. O que se observou no canal artificial investigado, como esquematizado nas figuras 6 e 7, foi a expansão da zona cisalhante com supressão do fluxo livre, sendo amplamente aceito que velocidades inferiores a 0,45 m/s comprometem o transporte de areias finas e abaixo de 0,3 m/s, materiais menores (CARVALHO, 2009).

A intensa deposição no canal artificial com média de 0,59 m/s deve ser também atribuída ao perfil de captura sedimentar promovida pela vegetação (figura 5 e 6), o que repercute na queda da turbidez no canal artificial em relação ao natural (figura 3d). Como visto na tabela 1, a vegetação, representada principalmente por *Myriophyllum*, *Hydrocotyle* e *Urochloa*, chega a ocupar totalmente o canal auxiliando na queda da turbidez em 82%, com elevado coeficiente de determinação (Figura 8), ou seja, a vegetação é mais importante na redução da turbidez que a velocidade do fluxo e o volume de água em propagação pela calha artificial.

Esta condição se alinha com estudos como Fischer-Antze et al (2001) e Ramesh et al (2021) sobre o processo de influência vegetal na interrupção de partículas ao longo do canal. Em comparação com o trabalho de Gharabaghi et al (2001), onde filtros vegetais reduziram em 50% as partículas suspensas em trecho de 2,44 metros, chegando a 98% em 19,52 metros, encontramos uma queda na turbidez que chegou a 79%, ainda que em uma distância maior, de 870 metros. Gathagu, Mourad e Cantou (2018) apontaram que faixas filtrantes retiveram 46% da carga sedimentares em canais com bacias agrícolas. O papel da vegetação como filtro de partículas não passa despercebido pelos usuários, estes na verdade permitem o seu crescimento na estação chuvosa justamente para que a mesma auxilie na redução destes corpusculos. A transparência da água, que pode ser alterada a partir da vegetação como anteparo sedimentar, é vista por Giacomazzo et al (2022) como importante fator para diversas atividades humanas.

Em síntese, conforme observado no *bi-plot* da figura 9, os trechos do canal natural estão mais subordinados a vazão e a velocidade do fluxo que promovem mudanças no canal, a partir da retirada, transporta ou acomodação de partículas (impactando na turbidez), a depender da cheia ou vazão. Nos trechos do conduto artificial, por outro lado, a vegetação tem prevalência nas dinâmicas exploradas, reduzindo a velocidade do fluxo, a dimensão da calha, podendo levar a transbordamentos e interrupções dos serviços. Um caso específico se refere ao trecho final do canal artificial onde a turbidez se torna o principal parâmetro observado, dadas as manutenções, sempre realizadas quando, no entendimento dos usuários, nesse caso a vegetação deixa de ser um vantajoso sistema de redução da turbidez e passa a impedir funcionamento dos canais. Ao final da estação chuvosa e durante o avanço dos dias secos a vegetação também é encarada como concorrente pelos recursos hídricos e então é retirada uma vez que o transporte de sedimentos é bastante reduzido e seu papel de filtragem se torna pouco significativo. A influência do crescimento vegetal observado neste estudo tem sido desdobrada em outras investigações, como Yagci e Strom (2022) considerando o papel ecomorfológico da vegetação na restauração fluvial. Também Yamasaki et al (2021) encontraram em simulações com vegetação artificial a tendência do crescimento da vegetação ao longo do canal a partir da retenção de materiais sedimentares o que repercute nas dinâmicas hidrodinâmicas dessas seções. Esses aspectos vegetativos ao longo dos canais sugerem ainda que, conforme apontam Hoch et al (2022), a vegetação tem papel no desenvolvimento de habitats com forte contribuição ecológica aos sistemas fluviais.

## CONCLUSÕES

Este estudo mostrou como a vegetação tem papel preponderante sobre o comportamento em pequenos canais artificiais de terra, sobretudo no que se refere à retenção de partículas disponíveis para transporte. Sendo evidente que a vegetação em canais de terra, com multivariados serviços, entre os quais a rega, criação de peixes, dessedentação animal e humana, precisa ser gerenciada e não simplesmente removida a qualquer momento, ainda mais quando se considera o papel ecológico que esses sistemas podem assumir. Considerado o sistema de drenagem, mesmo que a vazão no canal natural tenha apresentado respostas ajustadas com as precipitações, o sistema de transposição inegavelmente altera as conectividades hidrológicas. Para esta questão são observados os seguintes pontos:

(1) Durante a estação chuvosa, quando a água oriunda do canal natural apresenta elevada turbidez, a ação da vegetação no canal artificial é encarada como benéfica pelos moradores, pois auxilia na redução das partículas, gerando menores índices de turbidez.

(2) Conforme a vegetação cresce no canal artificial, ela reduz a transferência dos sedimentos, promovendo sua acomodação tanto no leito quanto nas suas próprias estruturas. Esta condição é importante uma vez que permite, ao longo da estação chuvosa, que os usuários possuam recursos hídricos com menores índices de turbidez.

(3) Esta mesma vegetação é responsável pela progressiva redução do canal, dado seu desenvolvimento e sedimentação, sendo inevitável a obstrução da passagem da água e o fim da própria estrutura de transposição. Em locais em que os canais não recebem manutenção os mesmos deixam de existir.

(4) No processo de limpeza dos canais as vazões voltam a apresentar elevação na turbidez e o material retirado é depositado nas suas margens, formando diques antrópicos. Estas assinaturas topográficas humanas geram uma desconectividade entre o canal artificial e a encosta, já que parte dos fluxos superficiais não alcançam o canal artificial ou o fundo de vale, ficando retidos junto aos diques.

(5) Já na estação seca, quando a turbidez é bastante reduzida, pela pouca conexão entre os materiais suspensos na vertente e o fundo de vale, a vegetação deve ser retirada para facilitar a passagem do caudal, reduzida pelas condições climáticas.

Dessa forma, em regiões de climas com estações bem definidas a gestão destes canais é melhor organizada a partir da lógica sazonal e da carga sedimentar disponível para transporte. Para isso, é importante um trabalho de orientação para que os usuários entendam as vantagens desta gestão e percebam que o canal também presta serviços ecossistêmicos que precisam ser encarados e mantidos.

A inserção dos habitats artificiais, extensores dos naturais, demanda que trechos sejam mantidos vegetados, funcionando como refúgios na estação chuvosa, período de reprodução de uma série de espécies atreladas a estes ambientes. Sendo necessários que novos estudos aprofundem na compreensão de como ocorrem as mudanças nas vazões naturais a partir dos sistemas de transposição e suas repercussões sobre as dinâmicas fluviais e ripárias.

Finalmente, espera-se que os métodos aqui reunidos permitam que novas investigações ocorram, elevando a quantidade de dados e análises sobre esta temática, contribuindo ainda para comparações com estudos laboratoriais e de modelagem, todos necessários para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. Sobretudo aqueles em contextos ambientais frágeis e ameaçados por constantes mudanças e pela pressão no consumo de água, revelando a necessidade de uma gestão cuidadosa da vegetação no interior dos canais, podendo desempenhar um importante papel na qualidade e quantidade da água disponível para os usuários e na formação de habitats fluviais condicionados pela sucessão biogeomórfica artificial.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada com apoio de CAPES/UFU/PRINT - 88887.311520/2018-00 FAPEMIG (Processo APQ-00231-16) e CNPQ (Processo PQ 302924 / 2019-1).

## REFERÊNCIAS

- ADITYA, G.; PAL, S.; SAHA, G.K. An assessment of fish species assemblages in rice fields in West Bengal, India: implications for management. *J. Appl. Ichthyol.* 26, p. 535–539, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01460.x>
- AFZALIMEHR, H.; MOGHBEL, R.; GALLICHAND, J.; SUI, J. Investigation of turbulence characteristics in channel with dense vegetation, *International Journal of Sediment Research*, v. 26, p. 269-282, 2011. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(11\)60093-0](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60093-0)
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Orientações para operação das estações hidrométricas. Brasília, 2011.
- BARKHORDARI, S.; SHAHDANY, S. M. H. A systematic approach for estimating water losses in irrigation canals, *Water Science and Engineering*, v.15, I. 2, p. 161-169, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2022.02.004>
- BIGGS, H. J.; HADDADCHI, A.; HICKS, D.M. Interactions between aquatic vegetation, hydraulics and fine sediment: A case study in the Halswell River, New Zealand. *Hydrological Processes*. v. 6, 2021. <https://doi.org/10.1002/hyp.14245>
- BOUWER, H. Artificial recharge of groundwater: systems, design, and management. In: Mays LW (ed) *Hydraulic design handbook*. McGraw-Hill, New York, p 24.1–24.44, 1999.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 600 p. 2009.
- CASSETI, V. *Estrutura e gênese da compartimentação da paisagem de Serra Negra -MG*. Goiânia: Ed. UFG, 1981.
- CASTRO, M. A.; CUNHA, F.F.; LIMA, S.F.; PAIVA NETO, V.B.; LEITE, A.P.; MAGALHÃES, F.F.; CRUZ, G.H. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, Ituiutaba, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras*. Brasília, 2011.
- CHAYKA, Y; VIKTOR ZHURBA, V; KRIVTSOVA, N; KHADZHIDI, A; VOSHCHEVOZ, P; Ugrekhelidze, N. Experimental study on vegetation removing from irrigation channels. *E3S Web of Conferences* 175. 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017509007>
- CHESTER, E.T; ROBSON, B.J. Anthropogenic refuges for freshwater biodiversity: Their ecological characteristics and management *Biological Conservation*, n. 166 p. 64–75, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.06.016>
- CORENBLIT, D.; TABACCHI, E.; STEIGER, J.; GURNELL, M. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews* v. 84, i, 1-2, p. 56-86, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.05.004>
- CORENBLIT, D.; STEIGER, J.; GONZÁLEZ, E.; GURNELL, A. The biogeomorphological life cycle of poplars during the fluvial biogeomorphological succession: A special focus on *Populus nigra* L. *Earth Surface Processes and Landforms* 39(4): p. 546-563, 2014. <https://doi.org/10.1002/esp.3515>
- CURRAN, J.C. HESSION, W.C. Vegetative impacts on hydraulics and sediment processes across the fluvial system. *Journal of Hydrology*. p. 364–376. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.013>
- CROKE, J.; MOCKLER, S. Gully Initiation And Road-To-Stream Linkage In A Forested Catchment, Southeastern Australia. *Earth Surf. Process. Landforms* v. 26, p. 205-217, 2001. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200102\)26:23.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:23.0.CO;2-G)
- CIOTTI, D. C.; MCKEE, J.; POPE, K.L.; KONDOLF, G. M.; POLLOCK, M.M. Design Criteria for

Process-Based Restoration of Fluvial Systems, *BioScience*, Volume 71, e. 8, p. 831–845, 2021 <https://doi.org/10.1093/biosci/biab065>

DAWSON, M.; GURNELL, A.; LEWIN, J.; Gurnell, A. Biogeomorphic Recovery of a River Reach Affected by Mining. *Earth Surface Processes and Landforms*. 10.1002/ESP.5470. 2022. <https://doi.org/10.1002/esp.5470>

D'IPPOLITO, A.; CALOMINO, F.; ALFONSI, G.; LAURIA, A; Flow Resistance in Open Channel Due to Vegetation at Reach Scale: A Review. *Water*. v. 13(2):116, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13020116>

D'IPPOLITO, A.; CALOMINO, F.; PENNA, N.; DEY S.; GAUDIO R. Simulation of Accelerated Subcritical Flow Profiles in an Open Channel with Emergent Rigid Vegetation. *Applied Sciences*. v. 12(14): 2022 <https://doi.org/10.3390/app12146960>

ERRICO, A., PASQUINO V., MASWALD, M., CHIRICO, G. B., SOLARI, L., & PRETI, F. The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of roughness coefficients at the real scale. *Ecological engineering*, v.120, p. 411-421. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.018>

LAMA, G. F. C.; ERRICO, A.; FRANCALANCI, S.; CHIRICO, B. G.; SOLARI, L.; PRETI, F. Hydraulic Modeling of Field Experiments in a Drainage Channel Under Different Riparian Vegetation Scenarios. *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*, v. 67. 2020. DOI:10.1007/978-3-030-39299-4\_8

FERREIRA, D. M.; FERNANDES, V. S.; KAVISKI, E.; & BLENINGER, T. Calibration of river hydrodynamic models: Analysis from the dynamic component in roughness coefficients. *Journal of Hydrology*, v.598, p. 126 - 136. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126136> FISCHER-ANTZE, T.; STOESEER, T.; BATES, P.; OLSEN, N. R. B. 3D numerical modelling of open-channel flow with submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, v.39(3), p. 303-310. 2001. <https://doi.org/10.1080/00221680109499833>

GATHAGU JN, MOURAD KA, SANG L. Effectiveness of Contour Farming and Filter Strips on Ecosystem Services. *Water*. v. 10(10). 2018. <https://doi.org/10.3390/w10101312>

GHARAGAGHI, B.; WHITELEY, H. R.; & DICKINSON, W. T. Sediment-removal efficiency of vegetative filter strips. In *ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2001

GHISALBERTI M; NEPF H. M. The limited growth of vegetated shear-layers. *Water Resources Research*, v.40(7), p. 2004 <https://doi.org/10.1029/2003WR002776>

GIACOMAZZO, M., BERTOLO, A., BRODEUR P.; MAGNAN, P. Relationship between submerged aquatic vegetation, turbidity, and fish distribution in a large shallow fluvial lake. *Environ Biol Fish*. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01359-w>

GRASSO, C.B. Petrologia do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Serra Negra, MG, 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Nacional de Brasília, Brasília.

Gurnell, A.M.; van Oosterhout, M.P.; de Vlieger, B.; Goodson, J.M. Reach-scale interactions between aquatic plants and physical habitat: River Frome, Dorset. *River Research and Applications* 22 (6), 1535. 2006. <https://doi.org/10.1002/rra.929>

GURNELL, A. M.; BERTOLDI, W.; CORENBLIT, D. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers *Earth-Science Reviews* v.111, p. 129-141, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.005>

HAMED, Y.; HADJI, R.; NCIBI, K.; HAMAD, A.; BEN SAAD, A.; MELKI, A.; ... & Mustafa, E. Modelling of potential groundwater artificial recharge in the transboundary Algero-Tunisian Basin (Tebessa-Gafsa): The application of stable isotopes and hydroinformatics tools. *Irrigation and Drainage*, 71(1), p. 137-156. 2022. <https://doi.org/10.1002/ird.2647>

HENRIQUES, M.; McVICAR, T. R.; HOLLAND, K. L., & DALY, E. Riparian vegetation and geomorphological interactions in anabranching rivers: A global review. *Ecohydrology*, 15(2), 2022.



<https://doi.org/10.1002/eco.2370>

HOCH, J.M.; SOKOL, E.R.; BUSH, M.R. Anthropogenic structures influence small-fish movement in wetlands. *Environ Biol Fish* 105, p. 1933–1952, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01268-y>

HUANG, H.Q.; NANSON, G.C. Vegetation and channel variation; a case study streams in southeastern Australia. *Geomorphology* v. 18, p. 237-249, 1997 [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(96\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(96)00028-1)

HUAI, W.; HU, Y.; ZENG, Y.; & HAN, J. Velocity distribution for open channel flows with suspended vegetation. *Advances in Water Resources*, v. 49, p. 56-61. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.07.001>

HUAI, W. X.; LI, S.; KATUL, G. G.; LIU, M. Y.; YANG, Z. H. Flow dynamics and sediment transport in vegetated rivers: A review. *Journal of Hydrodynamics*, v. 33(3), p. 400-420. 2021. <https://doi.org/10.1007/s42241-021-0043-7>

HUPP, C.R. The headward extent of fluvial landforms and associated vegetation on massanutten mountain, virginia. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 11, p. 545 -555, 1986. <https://doi.org/10.1002/esp.3290110509>

IELPI, A., LAPÔTRE, M.G.A., GIBLING, M.R. *et al.* The impact of vegetation on meandering rivers. *Nat Rev Earth Environv.* 3, p. 165–178, 2022. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00249-6>

ISLAM, A; RAGHUWANSHI, N.S; SINGH, R. Development and Application of Hydraulic Simulation Model for Irrigation Canal Network. *Journal of irrigation and drainage engineering* © ASCE, 2008.

LEE, H; SHIH, S. Impacts of vegetation changes on the hydraulic and sediment transport characteristics, Guandu mangrove wetland *Ecological Engineering*, v, 23, p 85-94, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.07.003>

Li, Y.; WANG, Y.; ANIM, D. O.; TANG, C.; DU, W.; ACHARYA, K. Flow characteristics in different densities of submerged flexible vegetation from an open-channel flume study of artificial plants. *Geomorphology*, v. 204, p. 314-324. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.015>

LORD, M. L.; GERMANOSKI, D.; ALLMENDINGER, N. E. Fluvial geomorphology: Monitoring stream systems in response to a changing environment. *Geological monitoring*, 69-103. 2009

LI, J.; CLAUDE, N.; TASSI, P.; CORDIER, F.; VARGAS-LUNA, A.; CROSATO, A.; RODRIGUES, S. Effects of vegetation patch patterns on channel morphology: A numerical study. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2022. <https://doi.org/10.1029/2021JF006529>

MACHADO, M.D.G. As unidades morfológicas e a estruturação da paisagem no município de Patrocínio –MG, 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MAGELLAN K.; WEYL OLF.; BOOTH AJ. Preference for Artificial Refugia over Natural Refugia in an Endangered Fish. *Diversity*. v.13(12), p. 635. 2021. <https://doi.org/10.3390/d13120635>

MERRITT, D.M.; SCOTT, M.L.; POFF, N.L.; AUBLE, G.T.; LYTLE, D.A. Theory, methods and tools for determining environmental flows for riparian vegetation: riparian vegetation-flow response guilds. *Freshwater Biology*, v. 55, p. 206–225, 2010. DOI:10.1111/j.1365-2427.2009.02206.x

NEPF, H.; GHISALBERTI, M. Flow and transport in channels with submerged vegetation *Acta Geophysica* v. 56, n. 3, p. 753-777. 2008. <https://doi.org/10.2478/s11600-008-0017-y>

NOE, G.B.; HUPP, C.R. Retention of riverine sediment and nutrient loads by coastal plain floodplains. *Ecosystems* v. 12, p. 728–746. 2009. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9253-5>

ONWUKA IS, SCINTO LJ, MAHDAVI MAZDEH A. Comparative Use of Hydrologic Indicators to Determine the Effects of Flow Regimes on Water Quality in Three Channels across Southern Florida, USA. *Water*. v.13(16): p. 2184. 2021. <https://doi.org/10.3390/w13162184>

ORAL Y, KYLE S, Reach-scale experiments on deposition process in vegetated channel: Suspended sediment capturing ability and backwater effect of instream plants, *Journal of Hydrology*, v.608, 2022,



<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127612>

PARHI, P.K.; SANKHUA, R.N.; ROY, G.P. Calibration of Channel Roughness for Mahanadi River, (India) Using HEC-RAS Model. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 4, p. 847-850, 2012 <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2012.410098>

POLITTI, E.; BERTOLDI, W.; GURNELL, A.; HENSHAW, A. Feedbacks between the riparian Salicaceae and hydrogeomorphic processes: A quantitative review, *Earth-Science Reviews*, v. 176, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.018>

Pu G.; QUACKENBUSH, L. J.; STEHMAN, S. V. Identifying Factors That Influence Accuracy of Riparian Vegetation Classification and River Channel Delineation Mapped Using 1 m Data. *Remote Sensing*. v. 13(22). p. 4645. 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13224645>

RAMESH, R., KALIN, L., HANTUSH, M., & CHAUDHARY, A. A secondary assessment of sediment trapping effectiveness by vegetated buffers. *Ecological engineering*, v. 159. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106094>

ROMDHANE, H; SOUALMIA, A; CASSAN, L; BELAUD, G. Effect of vegetation on flows and sediment transport E3S Web of Conferences 40, 02017, 2018, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184002017>

ROY, S. Role of transportation infrastructures on the alteration of hillslope and fluvial geomorphology. *The Anthropocene Review*, v. 9(3), p. 344-378. 2022. <https://doi.org/10.1177/20530196221128371>

RODRIGUES, S. C.; SILVA, R. E. Avaliação do impacto da criação de Canais Artificiais sobre a dinâmica das vazões e sedimentos em suspensão em bacia hidrográfica. *Boletim Goiano de Geografia* v. 40, p. 1-34, 2020. <https://doi.org/10.5216/bgg.v40.63811>

RODRIGUEZ-GONZALEZ, P. M.; ABRAHAM, E.; AGUIAR, F.; ANDREOLI, A., BALEZENTIENE, L.; BERISHA, N.; DUFOUR, S. Bringing the margin to the focus: 10 challenges for riparian vegetation science and management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v.9(5), p. 1604. 2022. <https://doi.org/10.1002/wat2.1604>

SABBATINIA, M.R.; MURPHY, K.J.; HIRIGOYENA, J. Vegetation–environment relationships in irrigation channel systems of southern Argentina, *Aquatic Botany*. v. 60, n. 2, p. 119-133. 1998. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00086-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00086-7)

SAND-JENSEN, K. (2008). Drag forces on common plant species in temperate streams: consequences of morphology, velocity and biomass. *Hydrobiologia*, v. 610(1), p. 307-319. 2008. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9446-5>

SILVA, R.E.; ALLAN SILVA, G. A comunidade rural de Dourados no município de Patrocínio -MG: Contatos entre rural e urbano, as relações de resistência e sobrevivência no campo. XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária -ENGA. Uberlândia: UFU, 2012.

SILVA, R.E. Assinaturas Topográficas Humanas no contexto dos canais derivados multifuncionais e suas repercussões hidrogeomorfológicas, tese (doutorado), Universidade Federal de Uberlândia. UFU, Uberlândia, 2018.

SOLER, M.; SERRA, T.; FOLKARD, A.; COLOMER, J. Hydrodynamics and sediment deposition in turbidity currents: Comparing continuous and patchy vegetation canopies, and the effects of water depth, *Journal of Hydrology*, v. 594, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125750>

STEIGER, J. E.; GURNELL, A. M. Spatial hydrogeomorphological influences on sediment and nutrient deposition in riparian zones: observations from the Garonne River, France. *Geomorphology* v. 49, p. 1 - 23, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00144-7](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00144-7)

STOFFEL, M.; WILFORD, D. Hydrogeomorphic processes and vegetation: Disturbance, process histories, dependencies and interactions. *Earth Surface Processes and Landforms* v. 37(1), p. 9 - 22, 2012. <https://doi.org/10.1002/esp.2163>

TÁNAGO, M. G.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, V.; AGUIAR, F. C.; BERTOLDI, W.; DUFOUR, S.; JALÓN, D. G.; GARÓFANO-GÓMEZ, V.; MANDZUKOVSKI, D.; RODRÍGUEZ-GONZALEZ, P. M. Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines, *Journal of Environmental Management*, v.292, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112730>

TANG, H; TIAN, Z; YAN, J; YUAN, S. Determining drag coefficients and their application in modelling of turbulent flow with submerged vegetation. *Advances in Water Resources*. v. 69, p. 134-145, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.04.006>

TAROLLI, P.; SOFIA, G. Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*, v. 255, p. 140-161. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.007>

TSUJIMOTO, T. Fluvial processes in streams with vegetation, *Journal of Hydraulic Research*, v. 37: 6, p. 789-803, 1999. <https://doi.org/10.1080/00221689909498512>

VARGAS-LUNA, A.; CROSATO, A.; UIJTTEWAAL, W.S.J. Effects of vegetation on flow and sediment transport: comparative analyses and validation of predicting models. *Earth Surf. Process. Landforms* v. 40, p. 157–176, 2015. <https://doi.org/10.1002/esp.3633>

YAMASAKI, T. N.; JIANG, B.; JANZEN, J. G.; NEPF, H. M. Feedback between vegetation, flow, and deposition: A study of artificial vegetation patch development, *Journal of Hydrology*, v. 598, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126232>

YAGCI, O.; STROM, K. Reach-scale experiments on deposition process in vegetated channel: Suspended sediment capturing ability and backwater effect of instream plants, *Journal of Hydrology*, v. 608, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127612>

YANG, L.; HUAI, W.; & GUO, Y. Stochastic simulation of the suspended sediment deposition in the channel with vegetation and its relevance to turbulent kinetic energy. *Water Resources Research*, v. 57 (9), 2021. <https://doi.org/10.1029/2021WR030380>

YEN, B. C. Open Channel Flow Resistance, *Journal of Hydraulic Engineering*, p. 20-39, 2002

ZHANG, J; WANG, W; SHI, H; WANG, W; LI, Z; TANG, X; XIA, Z. An analytical two-layer model for velocity distribution in open-channel flows with submerged flexible canopies considering multiply fluids mechanics, *Journal of Hydrology*, Volume 603, Part C, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127102>

ZHANG, C; KUAI, S; TANG, C; ZHANG, S. Evaluation of hydrological connectivity in a river floodplain system and its influence on the vegetation coverage, *Ecological Indicators*, v.144, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109445>

ZHU, L., CHEN, D., HASSAN, M. A., & VENDITTI, J. G. The influence of riparian vegetation on the sinuosity and lateral stability of meandering channels. *Geophysical Research Letters*, 49(2), 2022. <https://doi.org/10.1029/2021GL096346>

ZHU, X., LIU, W., JIANG, X. J., WANG, P., & LI, W. Effects of land-use changes on runoff and sediment yield: Implications for soil conservation and forest management in Xishuangbanna, Southwest China. *Land Degradation & Development*, v. 29, n. 9, p. 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.3068>

### Afiliação dos Autores

Silva, R. E. - Professor do Instituto Federal de Mato Grosso, Primavera do Leste (MT), Brasil.

Rodrigues, S. C. - Professor da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG), Brasil

Vieira, A. A. B. - Professor da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

## Contribuição dos Autores

Silva, R. E. - O autor propôs a pesquisa, coletou dados e analisou os dados.

Rodrigues, S. C. - O autor realizou as análises e auxiliou na redação e revisão dos resultados.

Vieira, A. A. B. - O autor revisou as análises e auxiliou na redação e revisão dos resultados.

## Editores Responsáveis

Alexandra Maria Oliveira  
Alexandre Queiroz Pereira