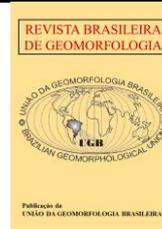




<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

Ajustes fluviais da retificação e do manejo inadequado da drenagem urbana: a bacia hidrográfica do ribeirão Maringá, Sul do Brasil

Fluvial adjustments due to straightening and inadequate management of urban drainage: the Maringá Stream catchment, Southern Brazil

Kenia Ketiri Beltramin¹ e Eduardo Souza de Moraes²

¹ Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Brasil. keniabeltramin20@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7272-9060>

² Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Brasil. esmorais2@uem.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0738-5532>

Recebido: 28/09/2023; Aceito: 07/08/2024; Publicado: 15/09/2024

Resumo: As mudanças na morfologia do canal fluvial podem ocorrer com intervenções diretas, como as obras, ou ainda indiretamente a partir das alterações no escoamento da bacia hidrográfica. Neste estudo foram realizadas avaliações morfométricas com emprego de geoprocessamento e trabalhos de campo em trechos fluviais alterados pela retificação e sobre influência da urbanização na bacia hidrográfica do ribeirão Maringá, norte do estado do Paraná. O estudo analisou entre os anos de 1970 e 2017 o índice de sinuosidade e a largura média de três trechos representativos. A morfologia sinuosa dos trechos foi retificada nas décadas de 1970 e 1980 e não se restabeleceu. Os trechos durante as últimas duas décadas apresentaram uma tendência de aumento na largura média (~100%), como resultado do aumento da impermeabilização da urbanização nas áreas de drenagem. No entanto, notou-se que houve períodos de estreitamento dos canais. Este comportamento é associado com a erosão e queda das margens, com consequente formação de patamares. A morfogênese desta unidade de relevo do canal é resultado do manejo inadequado do despejo de águas pluviais das áreas urbanas. Esta conjuntura indica a necessidade de esforços entre a gestão da drenagem de águas pluviais urbanas e a Geomorfologia Fluvial para a manutenção da integridade física dos rios.

Palavras-chave: patamares; urbanização; drenagem urbana; largura do canal; geomorfologia fluvial aplicada

Abstract: The morphological channel changes can occur through direct interventions, such as engineering works, or indirectly due to alterations in the catchment runoff. This study conducted morphometric evaluations using geoprocessing techniques and fieldwork in fluvial reaches altered by straightening and influenced by urbanization in the Maringá Stream catchment, located in the northern state of Paraná, Brazil. The study analyzed the sinuosity index and the average width of three representative reaches between the years 1970 and 2017. The sinuous morphology of the reaches was straightened in the 1970s and 1980s and did not re-establish itself. Over the past two decades, these reaches exhibited a trend of increasing average width (~100%) due to urbanization in the drainage areas. However, intermittent periods of channel narrowing were also observed. This behavior is associated with bank erosion and failure, leading to the formation of benches. The morphogenesis of this relief unit in the channel results from inadequate management of stormwater runoff from urban areas. This scenario indicates the need for coordinated efforts between urban stormwater management and fluvial geomorphology to maintain the physical integrity of rivers.

Keywords: benches; urbanization; urban drainage; channel width; applied fluvial geomorphology

1. Introdução

Os rios constantemente alteram suas características morfológicas por intermédio da erosão das margens e a deposição de sedimentos. Largura, profundidade e sinuosidade são alguns dos parâmetros que atestam as mudanças morfológicas que podem ocorrer no canal. Tanto eventos naturais como atividades humanas desempenham um papel como impulsionadores dos processos geomorfológicos. Os fluxos de maior magnitude, por exemplo, podem culminar na erosão marginal acarretando fortes variações na largura (CHARLTON, 2007; WOHL, 2014), bem como causar a diminuição da sinuosidade do canal (SCHUMM, 1977; HOOD, 2004). No entanto, é importante ressaltar que a intensidade das mudanças depende das características específicas do rio e da magnitude dos eventos impulsionadores.

Ao analisarem estudos que investigaram mudanças na largura, profundidade, sinuosidade e padrão do canal, Downs e Piégay (2019) observaram que, nos estudos com ênfase no impacto humano, a principal preocupação estava relacionada à alteração do uso e cobertura do solo, particularmente devido às atividades agrícolas e ao crescimento urbano. Embora as áreas urbanas representem uma pequena parte da cobertura do solo em escala global, este tipo de uso e cobertura da terra provoca mudanças drásticas aos sistemas fluviais (CHIN, 2020). O crescimento urbano resulta no aumento de áreas impermeáveis, interferindo no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, levando à redução da infiltração da água no solo e ao aumento dos fluxos superficiais (ROSA, 2017). Segundo a hierarquia de processos fluviais durante a urbanização, proposta por Montanher (2010), baseada no modelo de Wolman (1967), o canal fluvial recebe mais sedimentos, aumenta a largura e diminui a profundidade com o início da urbanização. Em estágios posteriores, o canal escava os sedimentos do leito, resultando em aprofundamento e estreitamento, podendo até expor o substrato rochoso. Além disso, a urbanização ainda pode gerar drástica diminuição na sinuosidade (DENG et al., 2015; SILVA et al., 2017; ASHMORE et al., 2023).

Com o desenvolvimento da urbanização frequentemente ocorrem outros tipos de mudanças nos rios, como as alterações diretas na morfologia do canal com a retificação ou canalização. O primeiro tipo dentre estas intervenções diretas no canal consiste na alteração do traçado original para tornar a morfologia mais retilínea e, em alguns casos, mais larga e profunda (OLIVEIRA et al., 2006; ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012). Já a canalização compreende as obras que modificam o canal fluvial, com o emprego de concreto e outros materiais no leito fluvial (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012). Essas intervenções, geralmente, são realizadas com o objetivo de conter os efeitos da inundação, para que se possa ocupar ou explorar a planície de inundação (PONTINI, 2018). A avaliação das mudanças morfológicas em rios sob influência destas intervenções nos estados Rio Grande do Sul (RECKZIEGEL et al., 2005) e Rio de Janeiro (SANTOS; MARÇAL, 2021) evidenciou o aumento dos processos erosivos. Todavia, há também o caso da drástica alteração do traçado original do rio Pinheiros em São Paulo com o estabelecimento de dois canais que acentuou os processos deposicionais (LUZ, 2015).

As alterações morfológicas nos rios causadas pela urbanização se estendem também a prejuízos ecológicos e sociais (CHIN et al., 2020) e ainda assim, há pouco conhecimento científico sobre como a urbanização interfere nos rios brasileiros (MORAIS; MONTANHER, 2022). Os impactos causados por este uso do solo podem gerar resultados divergentes aos encontrados em locais com características naturais e históricas distintas (SANDER et al., 2012). Além disso, os impactos nos rios, como destacado anteriormente, podem ocorrer de modo acumulativo com as alterações na bacia hidrográfica ou diretamente na morfologia do canal (DOWNS; PIÉGAY, 2019). Neste contexto destaca-se a rede hidrográfica do município de Maringá, no norte do estado do Paraná. A urbanização acelerada ao longo das últimas décadas com o modelo de ocupação da cidade a partir do interflúvio têm possibilitado investigações sistêmicas sobre os distúrbios geomorfológicos deste tipo de uso do solo (BAGGIO, 2014; PETSCH, 2014; SCHNEIDER et al 2014; VIEIRA et al., 2021; SOUZA; MORAIS, 2022). Neste estudo, o objetivo foi avaliar as mudanças morfométricas e morfológicas de trechos fluviais alterados pela retificação e sobre influência da urbanização, por intermédio de análises de geoprocessamento e trabalhos de campo. O conhecimento da dinâmica fluvial dos trechos estudados possibilita avaliar como alterações diretas e indiretas têm repercutido na integridade física da rede hidrográfica.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área em estudo

Os três trechos em estudo são representativos da dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Maringá (Figura 1), que é a maior bacia hidrográfica do município de Maringá, com uma área de ~ 90km². O TR1 compreende a extensão final de 571m do baixo curso do córrego Mandacaru, enquanto que o TR2 e o TR3 possuem, respectivamente, as extensões de 445m e 1.397m e localizam-se no médio e baixo curso do ribeirão Maringá. No caso do TR2 é importante observar que este se situa a jusante da confluência com o córrego Mandacaru, ou seja, os trechos TR1 e TR2 são contíguos.

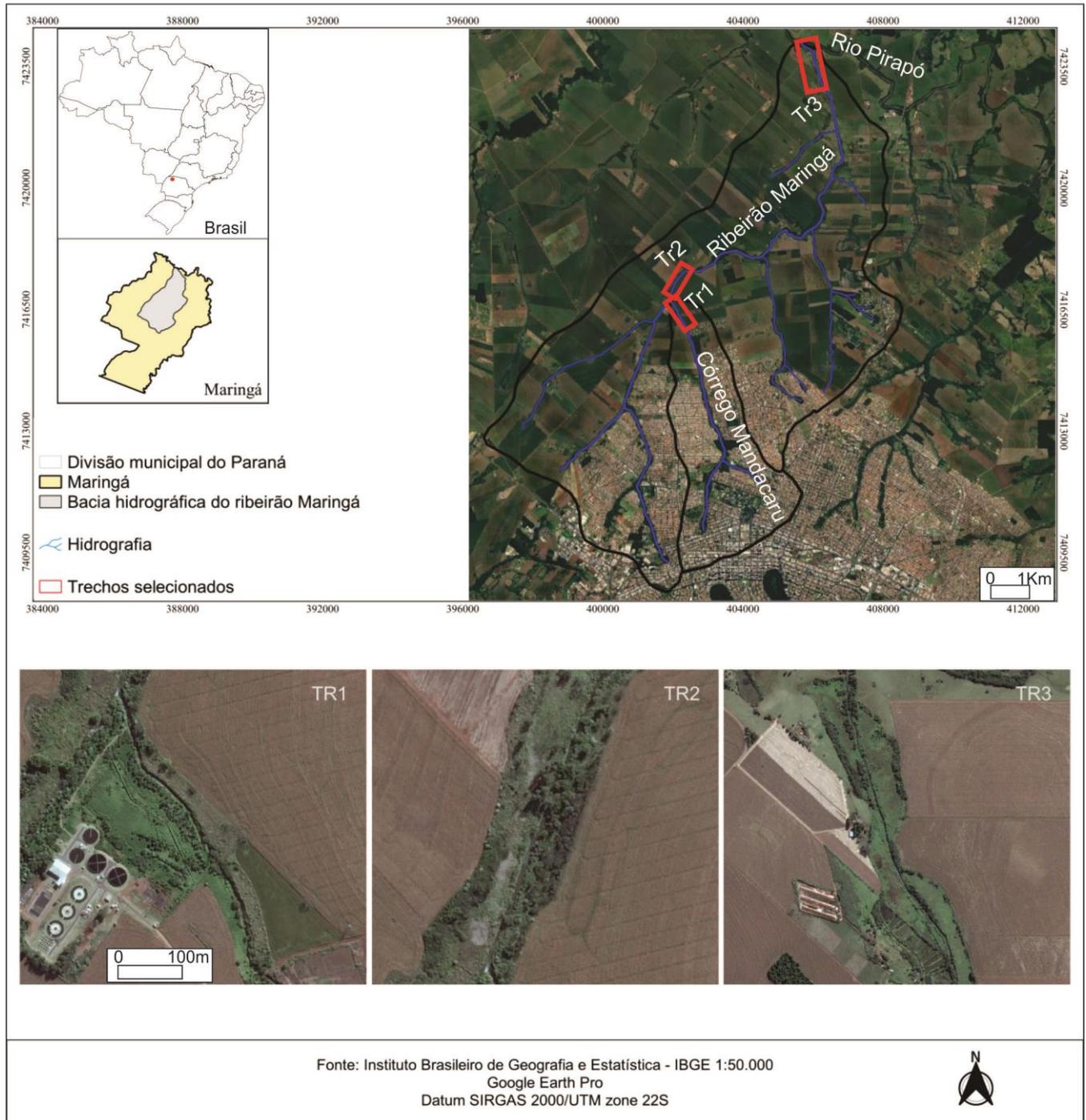


Figura 1. Localização dos trechos fluviais em estudo nos córregos Mandacaru (TR1) e ribeirão Maringá (TR2 e TR3) no município de Maringá.

A litologia na bacia hidrográfica é formada predominantemente por basaltos da Formação Paranapanema, proveniente dos derrames de magmas básicos durante a era Mesozoica (BRESSER et al., 2021). Os basaltos nessa região apresentam textura afanítica, porfirítica e amigdalóide na parte superior do derrame e coloração preta e cinza escura, cinza esverdeada a castanho-escura, e quando alterados, amarelo-ferrugem (MINEROPAR, 2001). Próximo a nascente do córrego Romeira, no sudeste da bacia hidrográfica, encontra-se uma faixa de arenitos finos a muito finos da Formação Goio Erê com estratigrafia cruzada e camadas tabulares de aspecto maciço, assentados sobre o basalto (BRESSER et al., 2021). Estes arenitos são de origem eólica e também datam da era Mesozoica (THOMAZ, 1984). No baixo curso do ribeirão Maringá ocorrem depósitos recentes de cascalho, areias, silte e argila na planície de inundação.

O clima na área de estudo é classificado por Koeppen (1948) como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), apresentando no mês mais quente temperaturas acima de 22° e no mês mais frio abaixo de 18°, com concentração de chuva no verão e ocorrência de geadas noturnas no inverno. A precipitação média anual corresponde a 1.706,08mm, com chuvas mais volumosas nos meses de janeiro, dezembro e fevereiro (MONTANHER; MINAKI, 2020). Outros dois fatores que influenciam o clima é a localização no Trópico de Capricórnio, que condiciona as altas temperaturas durante o verão, e a condição topográfica no norte do Paraná, que favorece a entrada de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais que acentuam os valores médios do clima local (SALA, 2005).

A bacia hidrográfica do ribeirão Maringá situa-se no Terceiro Planalto Paranaense. A subunidade taxômica que abrange esta bacia hidrográfica, o Planalto de Maringá, apresenta relevo com baixa dissecação e declividade predominante menor que 6%, os topos são alongados e aplainados, as vertentes são convexas e os vales possuem forma em “V” (MINEROPAR, 2006). Nas cabeceiras de drenagem ocupadas pelo setor urbano da bacia hidrográfica do ribeirão Maringá, o relevo é constituído por topos sutilmente arredondados e vertentes convexas com os vales encaixados. Nas áreas de médio curso do ribeirão Maringá, na parte oeste se apresenta o relevo menos dissecado com altitudes e declividades menos acentuadas e vertentes mais retilíneas com maior comprimento de rampa, na parte leste as vertentes apresentam uma maior declividade e menores comprimentos de rampa. No baixo curso as vertentes são mais alongadas e as declividades menos acentuadas (SALA, 2005).

2.2. Histórico de uso e ocupação de solo

O processo de colonização do norte do Paraná promovido pela Companhia de Terras Norte do Paraná (CTNP), em parceria com o governo do estado, se iniciou na década de 1930 e foi acompanhado de intensas modificações na paisagem. A fim de promover e fomentar a agricultura na região, rapidamente a vegetação nativa foi substituída pelas lavouras de café, o que culminou no rápido crescimento demográfico e urbanização da área. Em 1947, a Companhia Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP), que substituiu a Companhia de Terras Norte do Paraná (CTNP), oficializou o núcleo urbano de Maringá, que foi assentado sobre o divisor de águas, entre as bacias hidrográficas dos rios Ivaí e Pirapó. Assim como em todo o norte do estado do Paraná, o desenvolvimento urbano e agrícola em Maringá, contou com o intenso desmatamento da vegetação original (SALA, 2005).

Com o declínio da economia cafeeira, intensificada pelas fortes geadas que ocorreram na região, entre a década de 1960 e 1970 a monocultura do café foi, gradativamente, sendo substituída por culturas temporárias, como a soja e o trigo. A modificação veio acompanhada da mecanização das lavouras e o consequente aumento da produtividade, levando a valorização de pequenas propriedades locais (SAMPAIO, 2013; MORO, 1998). As modificações que ocorreram no campo desencadearam o êxodo rural na região (MORO, 1998). Em conjunto, o município recebia uma quantidade expressiva de migrantes. De 1950 a 1970, a população total passou de 38.588 para 121.374 mil habitantes. Entre 1970 e 1980, a população urbana ultrapassou a população rural. O rápido crescimento demográfico impulsionou o aumento de áreas urbanas no município (RUBIRA, 2016).

Inserida neste contexto do município, a bacia hidrográfica do ribeirão Maringá tem a maior parte de sua área utilizada para a atividade agrícola, principalmente de culturas temporárias como a soja, no entanto, parte considerável tem sido alterada pelo crescimento urbano. As áreas urbanizadas alcançaram no ano de 2017, respectivamente, 38% e 87% da bacia hidrográfica do ribeirão Maringá e da sub-bacia hidrográfica do córrego Mandacaru. Nesta última, foram criados 32 bairros entre os anos de 1963 e 2006 (PETSCH, 2014).

2.3. Procedimentos metodológicos

O estudo de mudanças morfológicas e morfométricas nos três trechos fluviais envolveu análises de geoprocessamento e trabalhos de campo. As fotografias aéreas e imagens orbitais abrangem o intervalo temporal de 48 anos entre 1970 a 2017 (Tabela 1). Foram selecionadas fotografias aéreas dos anos de 1970, 1977, 1989 e 1995, sendo as duas primeiras com escalas de 1:8.000 e as duas últimas de 1:20.000, adquiridas através do acervo digital da Universidade Estadual de Maringá. Também foram utilizadas imagens do satélite Quickbird por intermédio do software Google Earth Pro dos anos de 2002, 2003, 2005, 2010, 2012 e 2014-2017. O georreferenciamento de imagens, a vetorização dos trechos e o processamento dos produtos cartográficos foram realizados no sistema de informação geográfica QGIS Development Team (2020).

Tabela 1. Trechos fluviais e produtos cartográficos utilizados na análise das mudanças morfológicas.

Trecho	Produto Cartográfico	
	Foto Aérea	Imagem Orbital
TR1 – córrego Mandacaru	1977, 1989, 1995	2002, 2003, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 e 2017
TR2 – ribeirão Maringá	1977, 1989, 1995	2002, 2003, 2005, 2010, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017
TR3 – ribeirão Maringá	1970, 1977	2003, 2005, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017

Para cada trecho foram avaliadas as variações da largura e da sinuosidade, entretanto, apenas para o trecho TR 2 há produtos cartográficos disponíveis para análise da largura preliminar a retificação. A largura média do canal foi adquirida através da Eq. 1 descrita por Montanher (2019). Para a aquisição da área dos trechos dos canais utilizou-se a calculadora de campo no sistema de informação geográfica QGIS Development Team (2020).

$$L = \frac{A_t}{C_t} \quad (1)$$

em que, L : largura média do trecho; A_t : área do trecho; C_t : comprimento do trecho.

Os comprimentos dos trechos dos canais para computo do índice de sinuosidade foram adquiridos através da ferramenta medir também no sistema de informação geográfica QGIS Development Team, (2020). Para o índice de sinuosidade dos trechos utilizou-se a Eq. 2:

$$S = \frac{C_t}{C_{tv}} \quad (2)$$

em que, S : sinuosidade do trecho; C_t : comprimento do trecho; C_{tv} : comprimento do trecho no vale.

3. Resultados

3.1. Retificação

As retificações nos trechos TR1 (córrego Mandacaru) e TR2 (médio ribeirão Maringá) ocorreram entre os anos de 1977 a 1989 (Figura 2), causando a diminuição da sinuosidade, respectivamente, de 19% (1,27 para 1,03) e 17% (1,21 para 1,00). No TR3 (baixo ribeirão Maringá) a retificação ocorreu entre anos de 1970 e 1977 com diminuição da sinuosidade 28,3% (1,48 para 1,06). Com os trabalhos de campo notamos que houve apenas escavação na planície de inundação, pois não há indícios de que as intervenções tenham incluído impermeabilizações no leito ou a construção de diques. Após a expressiva diminuição da sinuosidade nos três trechos com a retificação (Figura 4), este parâmetro permaneceu relativamente estável até o ano de 2017.

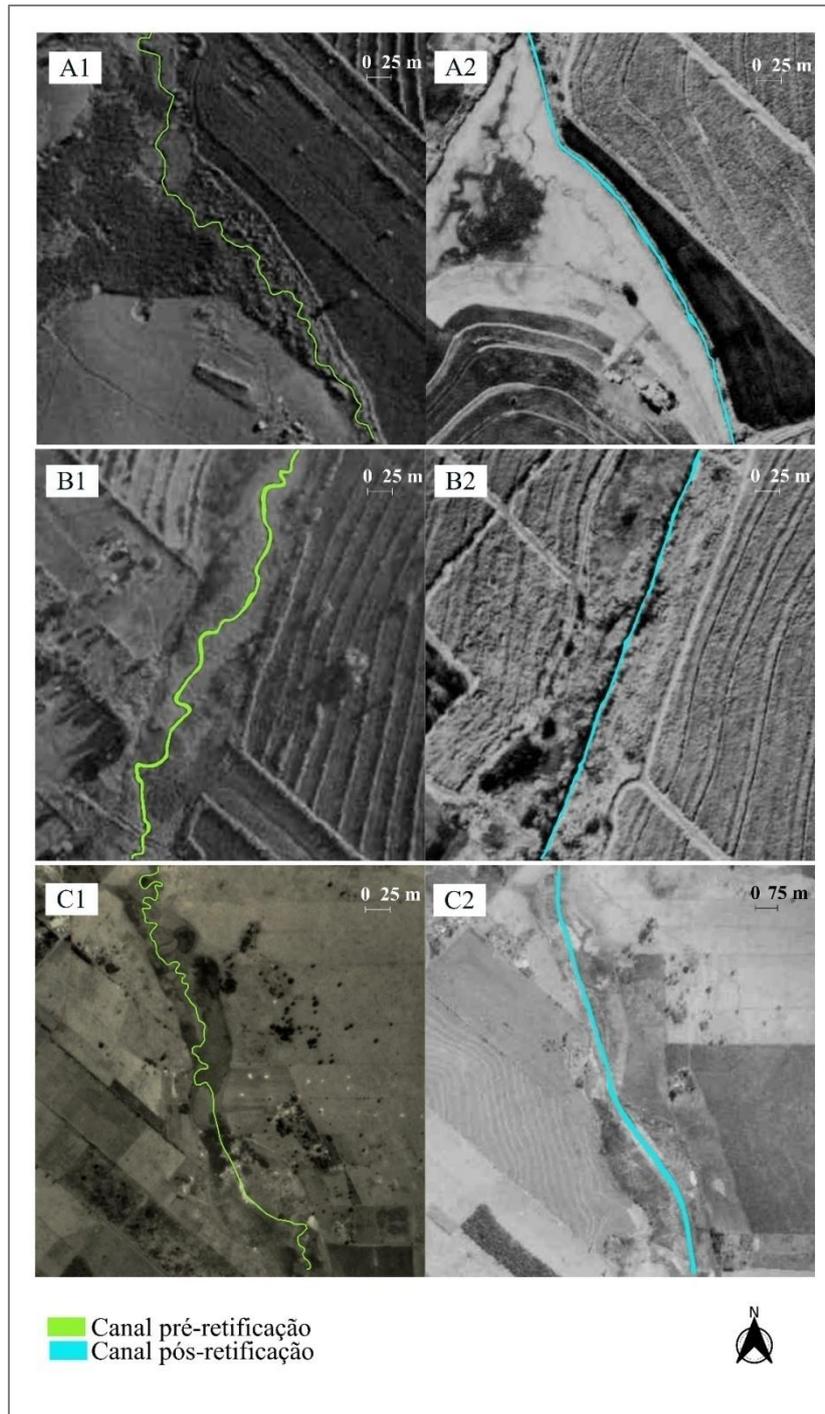


Figura 2. Pré e pós retificação nos TR1 (A1 e A2) e TR2 (B1 e B2) entre os anos de 1977 e 1989 e no TR3 (C1 e C2) entre os anos de 1970 e 1977.

3.2. Análise Temporal

As variações da largura dos trechos fluviais (Figura 3) evidenciam as mudanças morfológicas durante um período de 40 anos. Inicialmente, nota-se que a retificação causou o aumento de 80% na largura do TR2 entre os anos pré (1977) e pós (1995) intervenção. Os demais trechos não possuem fotografias aéreas disponíveis para aferição da largura preliminar a retificação. Desse modo, observou-se que os trechos TR1 (1989-2002) e TR3 (1977-2003) demonstraram diminuição da largura, posteriores à retificação, de 16% e 69%, respectivamente, indicando que os canais se estreitaram em intervalos subsequentes a esta intervenção.

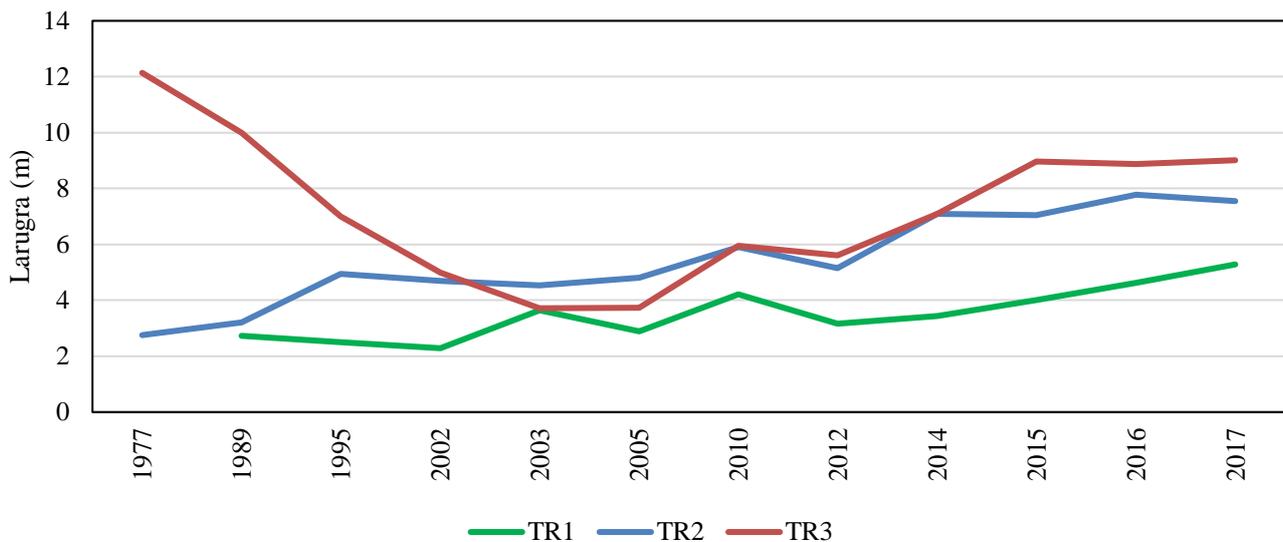


Figura 3. Variação da largura dos trechos em estudo.

Na sequência, notamos no intervalo 2003-2010 o aumento da largura de 29% e 60% nos trechos TR2 e TR3, respectivamente. Esse mesmo comportamento também prevaleceu no TR1 entre os anos de 2002-2003 (59%) e 2005-2010 (46%), entretanto, foi permeado pelo intervalo de 2003-2005 com a diminuição da largura (20%). Posteriormente, em um curto intervalo, 2010-2012, predominou a diminuição da largura (6-25%) nos trechos, seguido do intervalo final 2012-2017 com os trechos apresentando progressivo aumento da largura (48 e 57%).

3.3. Análise Espacial

A análise dos trechos TR2 e TR3 possibilita avaliar a correspondência de mudanças do canal entre o médio e baixo curso do ribeirão Maringá. É possível observar que em 1977 no TR2 o canal apresentava largura de 2,76m (pré-retificação), enquanto que o TR3 apresentava largura de 12,14m (pós-retificação), uma diferença de 341%. No entanto, a largura média do TR2 (4,6m) tornou-se maior que a do TR3 (3,7m) no ano de 2003. Essas variações são decorrentes do TR3 abranger o trecho final do ribeirão Maringá, com baixa gradiente, e relativamente, distante da área urbanizada, o que favoreceu a sedimentação que culminou, temporariamente, em uma largura do canal até mesmo inferior ao TR2 que abrange o médio curso. Posteriormente, com a continuidade do regime hidrológico influenciado pela urbanização, os trechos TR2 e TR3 apresentaram largura aproximadamente equivalente (7,1m) em 2014 e a partir de 2015 o baixo curso (TR3) se tornou mais largo que o médio curso (TR2). O aumento da largura tornou-se progressivo, porém, o processo é mais acentuado no TR3 (9,00m) em detrimento ao TR2 (7,54m).

Adicionalmente é possível avaliar a correspondência da variação da largura entre os trechos contíguos, o baixo curso do córrego Mandacaru (TR1) e o médio curso do ribeirão Maringá (TR2). Tanto o TR1 – baixo curso do ribeirão Mandacaru, quanto o TR2 – médio ribeirão Maringá (jusante da confluência com o córrego Mandacaru), tiveram aumento de largura média entre os anos de 2005 e 2010, diminuição de largura média entre 2010 e 2012 e aumento relativamente progressivo da largura a partir de 2012. Esse comportamento recente indica que, apesar de distintas sub-bacias hidrográficas, os trechos denotam processos similares decorrentes do crescimento da urbanização em ambas as áreas de drenagem.

3.4. Análise Morfológica

O quadro de mudanças morfológicas dos rios, com baixa taxa de migração lateral (sinuosidade), mas com aumento da largura, remete aos efeitos retificação e da urbanização, com o fluxo caracterizado pelo potencial erosivo. Os períodos recentes de estreitamento, identificados neste estudo (Figura 4), caracterizam-se pelo predomínio da intensa erosão marginal. Atestamos que os depósitos marginais recentemente erodidos não são todos transportados durante as cheias, desse modo há temporária diminuição da largura, e posteriormente esse material é retrabalhado, dando origem a patamares (Figura 4).

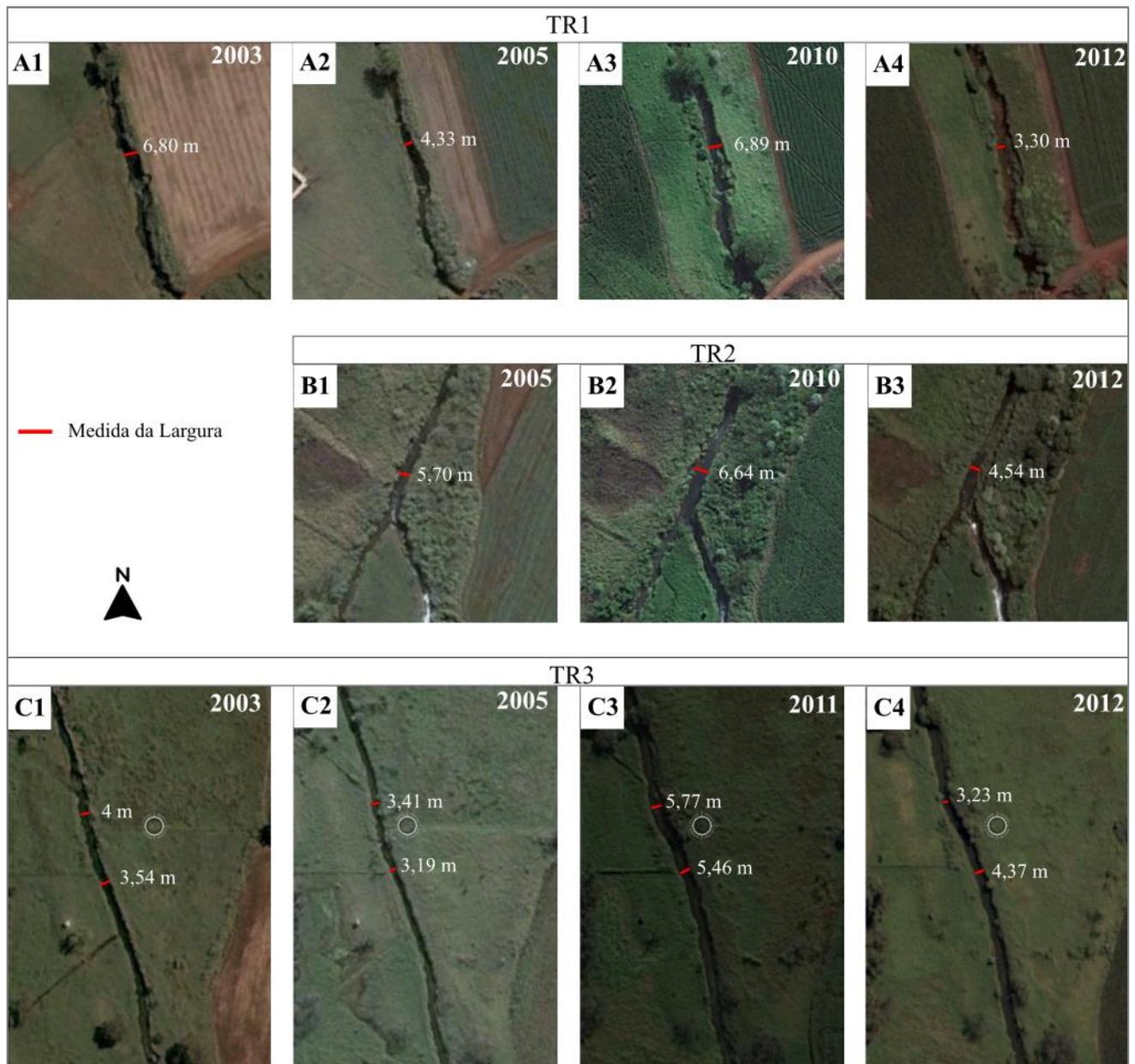


Figura 4. Variações da largura média dos três trechos, em que se nota o aumento da largura permeado com períodos de estreitamento do canal.

Os patamares no córrego Mandacaru são superfícies relativamente planas e descontínuas, formadas entre o leito e a margem. Há patamares aluviais formados por depósitos da erosão marginal em trechos onde não há competência suficiente para o transporte de sedimentos e os patamares rochosos ocorrem em trechos onde há competência para o transporte dos sedimentos e o fluxo propicia abrasão e destacamento do leito rochoso (Figura 5). Apesar da semelhança com as barras, estas unidades geomorfológicas são maiores, mais alongadas e mais vegetadas. A partir das análises, apresentamos adiante um modelo de evolução dos trechos analisados (Figura 5). Inicialmente, o canal se encontra em momento preliminar a ocupação da bacia hidrográfica (Figura 5. A). Com o aumento do fluxo devido à impermeabilização da bacia hidrográfica o canal é acometido por processos erosivos e incisivos no leito (Figura 5. B). Estes processos favorecem a erosão e queda de margens que resultam no acúmulo de sedimentos, gerando períodos de estreitamento (Figura 5. C). Estes depósitos marginais fomentam a formação de patamares (Figura 5. D), que em alguns casos, com a intensa erosão das margens possibilitam abrasão e destacamento da rocha formando patamares rochosos (Figura 5. E).

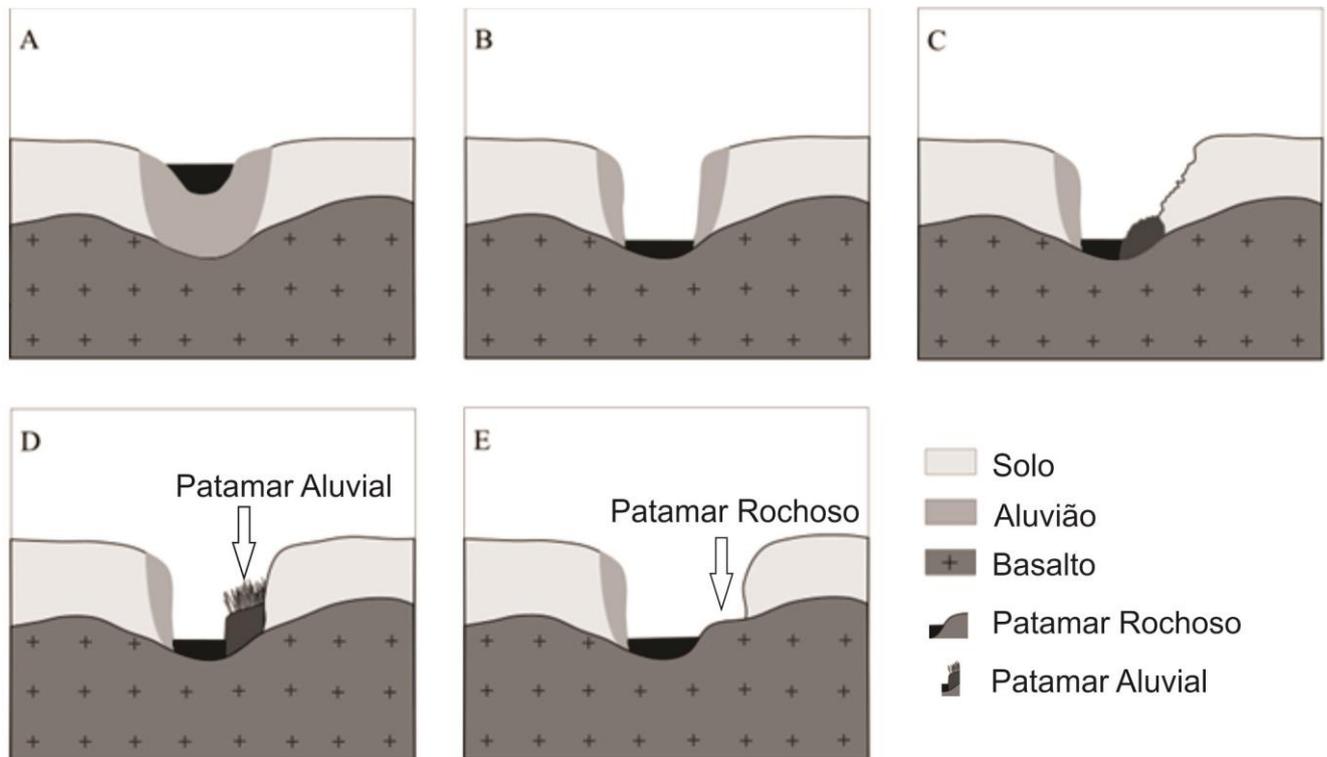


Figura 5. Modelo da formação dos patamares. Em (a), o canal em momento preliminar a ocupação da bacia hidrográfica, em (b) canal com erosão e incisão no leito devido à impermeabilização da urbanização na bacia hidrográfica. Em (c) queda de margens e deposição no canal. Em (d) patamar formado por depósitos marginais em (e) patamar rochoso.

4. Discussão

Os trechos avaliados não restabeleceram a sinuosidade após a retificação ocorrida entre 40-50 anos e as retificações ocorreram interceptando o traçado sinuoso dos canais. Os depósitos transportados na bacia hidrográfica são provenientes do basalto e essa litologia dá origem a sedimentos finos e coesos, criando condições de estabilidade das margens (SANTOS et. al, 2008). Ademais, a manutenção da morfologia retilínea, como efeito da retificação em canal meandrante, tem sido reportada em escala temporal até duas vezes maior que a abrangida neste estudo (SALA; RHOADS, 2022).

A ausência de recuperação da sinuosidade também pode estar relacionada com a urbanização na bacia hidrográfica (DENG et. al., 2015), pois o aumento da magnitude dos fluxos com a drenagem das áreas impermeabilizadas favorece o aumento da largura do canal (PARK, 1997, SANTOS; PINHEIRO, 2002, TANIGUCHI; BIGGS, 2015; MONTANHER, 2010; NAVRATIL et al. 2013). As áreas urbanizadas no alto curso da bacia hidrográfica em estudo têm avançado intensamente em direção a jusante, favorecendo o aumento da magnitude da vazão (PETSCH, 2014) e a erosão marginal é reconhecida como a principal fonte de sedimentos da bacia hidrográfica do ribeirão Maringá (COELHO, 2007). Esse efeito tornou-se notório a partir das comparações feitas por Rigon (2010) com a constatação das taxas de erosão marginal de 40,92cm/mês e 0,25cm/mês, respectivamente para a área de drenagem do TR-1 (bacia hidrográfica do córrego Mandacaru) e uma bacia hidrográfica rural adjacente (sub-bacia hidrográfica do córrego Romeira). Portanto, as mudanças impetradas no ciclo hidrológico em decorrência da impermeabilização da urbanização têm associação com a tendência das últimas décadas de aumento da largura do canal.

As oscilações de aumento e diminuição da largura média nos trechos em estudo sugerem a ocorrência de microciclos do modelo de mudanças de canal sobre influência da urbanização, descritos por Montanher (2013). Neste estudo destacamos que a erosão e a queda de margens durante períodos com fluxos de elevada magnitude (RIGON, 2010; BAGGIO, 2014), possibilita o retrabalhamento dos depósitos e a sedimentação lateral nas margens e a consequente, formação dos patamares. Os patamares são descritos como superfícies deposicionais de rios em que há processos de dissecação (FERNANDEZ, 2003) e nos trechos estudados essas unidades geomorfológicas

ocorrem como um ajustamento fluvial aos fluxos da drenagem da área urbana. Essas unidades do relevo possuem morfogênese similar ao descrito por Vietz et al., (2004), como resultado da expansão do canal, seguida de deposição, e não necessariamente formados pela agradaciação de fluxos de cheia (ERSKINE; SAYNOR, 1996; ERSKINE; LIVINGSTONE 1999).

Como a formação dos patamares é relacionada com o regime hidrológico contemporâneo, estas unidades de relevo são indicadores para definições de níveis de margens plenas (FERNANDES, 2003). No córrego Mandacaru (Figura 6), que faz parte da área em estudo (TR1), os patamares foram investigados pela possibilidade de estoque de contaminantes (SOUZA; MORAIS, 2023). Nesse contexto, nosso estudo contribui também a partir da constatação de que há maior ocorrência de patamares nos TR1 e TR 2 em comparação ao TR3. Com a maior urbanização na área de drenagem do TR1, o fluxo propiciou até mesmo a formação de patamares rochosos (WOHL, 1992), pois há elevada potência neste trecho em decorrência da maior proximidade com à área urbana.

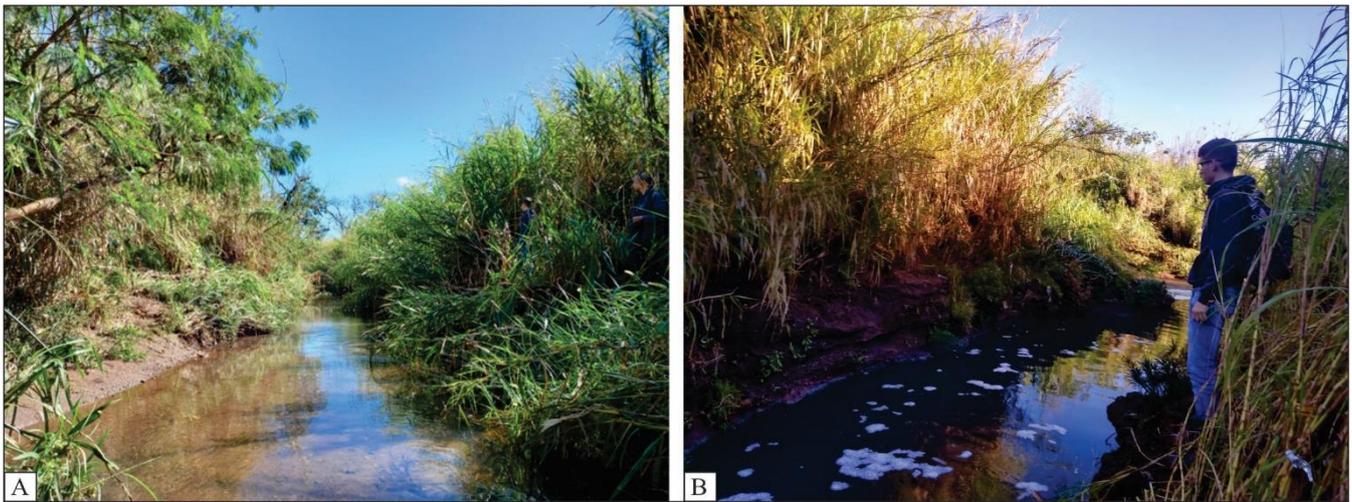


Figura 6. Patamar aluvial (A) e rochoso (B) na margem direita.

O estudo de mudanças morfológicas de canais sobre influência da urbanização, mas em bacias hidrográficas de solos de textura arenosa no noroeste do estado do Paraná constatou a sedimentação elevada de materiais próximo à margem (MONTANHER, 2013). Esses depósitos deram origem a diques marginais que forçam o acúmulo de água nas laterais da planície que induzem a formação de lagos. No entanto, nos trechos avaliados deste estudo, em bacia hidrográfica com solos de textura argilosa, não se constatou sedimentações expressivas, como nos canais analisados por Montanher op. cit., mas aumento da largura, manutenção da sinuosidade imposta pela retificação e a formação de patamares. Em um estudo desenvolvido no município de Marechal Cândido Rondon com contexto de litologia e relevo similar, porém em áreas de drenagem menores e urbanização não tão adensada, a avaliação em uma escala temporal de aproximadamente uma década demonstrou ligeiro predomínio de processos deposicionais em setes seções, comparados aos processos erosivos em quatro seções (BORTOLUZZI; FERNANDEZ, 2010). Os diferentes ajustes dos canais à influência da urbanização ressaltam a importância de conhecer a estrutura da bacia hidrográfica, bem como integrar e ampliar os estudos de modo que se envolva a comparação de distintas paisagens urbanas.

As variações na largura dos canais e a ausência de restabelecimento da sinuosidade são, respectivamente, respostas a urbanização e a retificação e aqui são creditadas como impactos à integridade física dos rios (GRAF, 2001). Esse cenário encontra respaldo na assertiva apontada por Pelech e Peixoto (2020) de que há uma percepção da gestão brasileira de que os rios são apenas escoadouro de água. Os esforços na gestão das bacias hidrográficas devem garantir os fatores naturais como imperativos dos processos e das formas do sistema fluvial, com o intuito de assegurar à integridade física dos rios. Medidas de restauração fluvial têm induzido o restabelecimento da sinuosidade dos canais (WOHL et al., 2015), como modo de retomar à dinâmica fluvial (ex. migrações e inundações). Entretanto, a compatibilização do fluxo da urbanização com a dinâmica fluvial, uma tarefa reconhecida como um desafio da Geomorfologia Fluvial de rios urbanos (CHIN et al., 2020), é uma questão mais emergencial para o manejo sustentável dos rios em estudo.

5. Conclusões

O estudo possibilitou o entendimento de mudanças na morfologia de trechos fluviais que estão sobre influência da urbanização e que foram submetidos à retificação. A retificação ocorreu na década de 1970 e 1980 com obras que alteraram a morfologia dos canais de sinuosa para retilínea. Os trechos analisados não apresentaram ajustes na mobilidade lateral, portanto, mantém a morfologia retilínea da intervenção com a retificação. No entanto, durante o período analisado observou-se uma expressiva tendência de aumento da largura média dos trechos, com curtos períodos de estreitamento. Notou-se que este último comportamento da largura tem associação com a formação de patamares, em decorrência da queda de margens e retrabalhamento de depósitos marginais no leito do canal, como uma resposta geomorfológica a urbanização. A perda da integridade física dos rios, com o registro de mudanças morfológicas, é ocasionada não em si pela impermeabilização devido à urbanização, mas especificadamente pela ineficiência dos dissipadores de energia do sistema de drenagem urbano.

Neste cenário, comum da urbanização brasileira, a Geomorfologia Fluvial tem um papel crucial, com o desafio de contribuir para o desenvolvimento territorial. Para mitigar a situação é fundamental a integração do conhecimento para estabelecer uma relação sustentável da urbanização com o rio. No caso da drenagem de águas pluviais, a agenda deve pautar a discussão sobre a manutenção dos fatores naturais na dinâmica fluvial. Faz se necessário, portanto, uma participação efetiva da Geomorfologia Fluvial nas políticas públicas de drenagem urbana, com interlocução com a engenharia, para proposição de equipamentos e manejo que impeçam que a impermeabilização do solo afete à integridade física dos rios.

Contribuições dos Autores: Concepção, K.B. e E.M.; metodologia, K.B. e E.M.; software, K.B.; validação, K.B. e E.M.; análise formal, K.B. e E.M.; preparação de dados, K.B.; redação do artigo, E.M.; revisão, E.M.; supervisão, E.M. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

Agradecimentos: A Wilson Francisco de Oliveira e ao Programa de Documentação Histórica/CCH/UEM pelo apoio com fotografias aéreas.

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

Referências

1. ASHMORE, P.; MCDONALD, J., BARLOW, V. Multi-decadal changes in river morphology in an urbanizing watershed: Highland Creek, Toronto, Canada. *Geomorphology*, v. 433, p. 1-26, 2023. DOI: 10.1016/j.geomorph.2023.108710
2. ASSUMPCÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ). *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 29, n. 3, 2012.
3. BAGGIO, J. M.; **A Influência da Tecnogênese sobre os Canais Fluviais da Área Urbana de Maringá - PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, 2014.
4. BORTOLUZZI, L. N.; FERNANDEZ, O. V. Q. Variações morfológicas em córregos que drenam a área urbana de Marechal Cândido Rondon, Paraná. *Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia*, v. 2, n. 2, p. 3-27, 2010.
5. BRESSER, M. L., BRUMATTI, M., SPISILA, A. L. Mapageológico e de recursos minerais do estado do Paraná. Escala 1:600.000. Curitiba: SGB-CPRM, 2021.
6. CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Londres: Routledge, 2007, p. 280.
7. CHIN, A.; GREGORY, K. J.; O'DOWD, A. P. Urbanizing River Channels. In: Shroder, J. **Treatise on Geomorphology**, v. 9, p. 809-827. 2020. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.12500-X
8. COELHO, A. R. **Dinâmica fluvial e qualidade da água da bacia de drenagem do ribeirão Maringá: contribuição para o planejamento e gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá, 2007, p. 13.
9. DENG, X.; XU, Y.; HAN, L.; SONG, S.; YANG, L.; LI, G.; WANG, Y. Impacts of Urbanization on River Systems in the Taihu Region, China. *Water*, v. 7, p. 1340-1358, 2015. DOI 10.3390/w7041340
10. DOWNS, P. W.; PIÉGAY, H. Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: implications, limitations, prospect. *Geomorphology*, n. 338, p. 88-104, 2019. DOI 10.1016/j.geomorph.2019.03.021 (2019)
11. ERSKINE, W. D.; LIVINGSTONE, E.A. In-channel benches: the role of floods in their formation and destruction on bedrock-confined river. In: A.J. Miller and A. Gupta, (eds.), **Varieties of Fluvial Form**, p. 445–475, Wiley, 1999.
12. ERSKINE, W.D.; SAYNOR, M.J. Effects of Catastrophic Floods on Sediment Yields in Southeastern Australia. Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. Proceedings of the Exeter Symposium, 1996, p. 381-388.

13. FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. O Grupo Caiuá (Ks): Revisão Estratigráfica E Contexto Depositional. **Rev. Bras. Geociências**, v. 24, p. 164-176, 1994.
14. FERNANDEZ, O. V. Q. Determinação do nível e da descarga de margem plena em cursos fluviais. **Boletim de Geografia**, v. 21, p. 97-109. 2003.
15. GRAF, W. L. Damage control: Restoring the physical integrity of America's rivers. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 91(1), p. 1-27, 2001. DOI. 10.1111/0004-5608.002312001
16. HOOD, W. G. Indirect Environmental Effects of Dikes Channels: Thinking Outside of the Dike and Monitoring on Estuarine Tidal for Habitat Restoration. **Estuaries**, v. 27, n. 2, p. 273-282, 2004.
17. KÖPPEN, W. Climatologia. **Com um estudo de los climas de la tierra**. 1948.
18. LUZ, R. A. **MUDANÇAS GEOMORFOLÓGICAS NA PLANÍCIE FLUVIAL DO RIO PINHEIROS, SÃO PAULO (SP), AO LONGO DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO**. 2015. Tese de doutorado (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, 2014. DOI 10.11606/T.8.2014.tde-29062015-152030.2015
19. MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Estado Do Paraná**. Curitiba, 2006. 63p.
20. MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, Curitiba, 2001, 116p.
21. MONTANHER, O. C. Levantamento de dados e análise de mudanças em sistemas fluviais por meio de geoprocessamento e sensoriamento remoto: proposta metodológica e estudo de caso. **Caminhos De Geografia**, v. 20(70), p. 136-157, 2019. DOI 10.14393/RCG207042420.
22. MONTANHER, O. C. Ciclos de erosão e sedimentação em bacias hidrográficas urbanas do noroeste paranaense e suas implicações no ajuste de sistemas fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.4, p.319-325, 2013.
23. MONTANHER, O. C.; MINAKI, C. Precipitação em Maringá-PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 39, 2020. DOI 10.11606/rdg.v39i0.164209.
24. MONTANHER, O. C. Ajustes do sistema fluvial à impermeabilização urbana: estudo de caso em Terra Rica, PR. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 185-197, 2010. DOI 10.4025/bolgeogr.v28i2.10381.
25. MONTANHER, C. O.; MORAIS, S. E. **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. Ajustamento fluvial à agropecuária, urbanização e reservatório e análise cientométrica do impacto dessas atividades nos rios brasileiros. In: CARVALHO JÚNIOR, O., A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. **Revisões da Literatura da Geomorfologia Brasileira**, p. 128-160, 2022.
26. MORO, D. Á. O êxodo rural e o crescimento populacional da cidade de Maringá no período de 1970 a 1980. 1998. **Boletim de Geografia**, v. 6, n. 1, p. 19-32, 2011. DOI 10.4025/bolgeogr.v6i1.12225.
27. NAVRATIL, O.; BREIL, P.; SCHMITT, L.; GROSPRETRE, L.; ALBERT, M. B. Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yzeron River basin, France). **Journal of Hydrology**. V. 485, p. 24-36. 2013.
28. OLIVEIRA, E. L. A.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. Modificações na morfologia dos cansi de drenagem da bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS. **RA'E GA**, v. 11, p. 103-113, 2006.
29. PARK, C. C. Channel cross-sectional change. In: GURNELL, A.; PETTS, G. **Changing River Channels**. In: John Wiley and Sons, Chichester, 117-145, 1997
30. PELECH, A. S.; PEIXOTO, M. N. O. Rios Urbanos: contribuições da Antropogeomorfologia e dos estudos sobre os Terrenos Tecnogênicos. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 65, n. 1, p. 2-22, 2020.
31. PETSCH, C. Aspectos da evolução da impermeabilização na bacia docórrego Mandacaru, Maringá – PR. **Revista GeoAmazônia**, v. 01, n. 2, p. 42 - 58, 2014.
32. PONTINI, V. V. **Interferências antrópicas em ambientes fluviais: estudo de caso no baixo curso da bacia hidrográfica do rio novo, Piúma (ES)**. Monografia (Bacharelado em Geografia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2018.
33. QGIS Development Team QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System (versão 3.16). 2021. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.
34. RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S.; OLIVEIRA, E. L. A. Mapeamento de áreas de risco geomorfológico nas bacias hidrográficas dos arroios Cancela e Sanga do Hospital, Santa Maria-RS. **Revista do Departamento de Geociências**, v. 14, n. 1, 2005.
35. RIGON, B. T. C. **Avaliação têmporo-espacial do processo erosivo marginal dos córregos Mandacarú e da Romeira – Maringá-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, 2010.
36. ROSA, A. F. **Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio – MG**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Disponível em <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19693>>.

37. RUBIRA, F. G. Análise multitemporal da expansão urbana de Maringá durante o período de 1947 a 2014 envolvendo o parque municipal do Cinquentenário e as principais áreas verdes do município. **Caderno de Geografia**, v.26, n. 46, 2016. DOI 10.5752/p.2318-2962.2016v26n.46p.333.
38. SALA, M. G. Indicadores de fragilidade ambiental na bacia do ribeirão Maringá-PR. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, 2005.
39. SALA, C. R., RHOADS, B. L. Big Pine Creek Ditch revisited: Planform recovery to channelization and the timescale of river meandering. **Geomorphology**, v. 403, 2022. DOI. 10.1016/j.geomorph.2022.108140
40. SANDER et al., Cenários de intervenções realizadas em canais fluviais urbanos nas cidades de Marechal Cândido Rondon-PR e Boa Vista-RR. **ACTA Geográfica**, v.6, n.12, 2012. DOI. 10.5654/actageo2012.0612.0004
41. SANTOS, R. C.; MARÇAL, M. S. Caracterização dos ajustes e mudanças na morfologia do rio São João, região das baixadas litorâneas do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 22, nº 1, 2021, DOI.10.20502/rbg.v22i1.1826.2021
42. SANTOS, G. F.; PINHEIRO, A. Transformações geomorfológicas e fluviais decorrentes da canalização do rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar (SC). **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 3, 2002. DOI. 10.20502/rbg.v3i1.10.
43. SANTOS, L. M.; STEVAUX, C. J.; GASPARETTO, L. V. N.; SOUZA, E. E. Geologia e geomorfologia da planície aluvial do rio Ivaí em seu curso inferior. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.23-34, 2008.
44. SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F.H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum. Technology Maringá**, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011. DOI 10.4025/actascitechnol.v33i3.8385
45. SCHUMM, S.A. **The Fluvial System**. Blackburn Press, Caldwell, NJ, p. 338, 1977.
46. SILVA, A. J.; AMARAL, L. L.; PÔSSAS, B. I.; CHEREM, L. F. S. Mudanças na sinuosidade no trecho urbano do Córrego Tamanduá em Aparecida de Goiânia (GO): resultados qualitativos preliminares. "Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento ", XVII Simpósio brasileiro de geografia física aplicada - **I Congresso nacional de geografia física**, 2017, Campinas- SP.
47. SOUZA, V. H.; MORAIS, E. S. Avaliação sedimentológica de patamares em trecho fluvial com lançamento de efluente doméstico: o córrego Mandacaru, PR. **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá**, v. 15, n. 1, p. 30-48,2023.
48. TANIGUCHI, K. T.; BIGGS, T. W. Regional impacts of urbanization on stream channel geometry: A casestudy in semiarid southern California. **Geomorphology**, v. 248, p. 228-236, 2015.
49. THOMAZ, S. L. Sinopse sobre a geologia do Paraná. 1984. **Boletim de Geografia**, v. 2, n. 2, p. 76-90, 2011. DOI 10.4025/bolgeogr.v2i2.12276.
50. VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na morfologia dos canais urbanos: alto curso do rio Paquequer, Teresópolis –RJ (1997/98 – 2001). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, p. 3 – 22, 2008. DOI 10.20502/rbg.v9i1.97.
51. VIETZ, G.; RUTHERFURD, I. D.; STEWARDSON, M. J. Not all benches are created equal: proposing and field testing an in-channel river bench classification. **Australian Stream Management Conference**. Department of Primary Industries, Water and Environment, Launceston, Tasmania, p. 629–635, 2004.
52. WOHL, E., LANE, S. N.; WILCOX, A. C. The science and practice of river restoration. **Water Resour. Res.**, 51, 5974–5997, doi:10.1002/2014WR016874.
53. WOHL, E. Bedrock benches and boulder bars: Floods in the Burdekin Gorge of Australia. **Geological Society of America Bulletin**, v. 104, p. 770-778, 1992.
54. WOHL, E. **Rivers in the landscape**. JohnWiley & Sons, Ltd. P. 332, 2014.
55. WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. **Geografiska Annaler**, v.49, n. 1-4, p.385-395, 1967. DOI. 10.1080/04353676.1967.11879766



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