



Geomorfologia antropogênica e cartografia geomorfológica em uma área urbana do município de Diadema – Sudeste do Brasil

Anthropogenic geomorphology and Geomorphological Cartography in an Urban Area in the City of Diadema – Southeastern Brazil

Eduardo Luiz Morari*  ; Fernando Nadal Junqueira Villela  

Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

E-mail: geovillela@usp.br

*Email para correspondência: eduardo.morari@alumni.usp.br

Recebido (Received): 12/06/2023

Aceito (Accepted): 19/07/2024

Resumo: O presente estudo tem como objetivo investigar e mapear a geomorfologia antropogênica de uma área urbana de Diadema, SP. Sendo parte da Região Metropolitana de São Paulo, até meados da década de 1950, o município apresentava características rurais de uso e ocupação do solo e sofreu rápida transformação para atividades urbanas e industriais a partir de 1960. Assim, a intervenção antropogênica no relevo apresenta características bastante distintas da cidade de São Paulo, pois as tecnologias e interesses econômicos eram diferentes dos inícios da urbanização da metrópole. Essas características foram valorizadas na seleção da área de estudo, região central de Diadema, que abrange uma zona de morros cristalinos do Planalto Paulistano. Adotando uma quadrícula de 700 m², mapeada na escala 1:5.000, a área emoldura importantes modificações antropogênicas no relevo, tais como cortes de talude, aterros, retificações de drenagem e escavações na planície fluvial para reservatórios de contenção de cheias, modificando a topografia, volumes de materiais mobilizados e processos vigentes. Segundo pressupostos da abordagem retrospectiva e a cartografia geomorfológica, foram investigadas as fases de perturbação pré-urbana e de urbanização consolidada, quantificando o material mobilizado pelas intervenções antrópicas diretas por meio da criação de formas positivas e negativas. Assim, este estudo obteve como resultado, a partir do mapeamento geomorfológico do período pré-urbanização (original) e da urbanização consolidada, a qualificação e quantificação das intervenções antropogênicas no relevo, sendo possível o reconhecimento das modificações no relevo e estimativas dos volumes de materiais mobilizados, apontando as intervenções antrópicas nos domínios dos interflúvios e planícies consideradas.

Palavras-chave: Antropogeomorfologia; Geomorfologia pré-urbana e consolidada; Volume de material mobilizado.

Abstract: *The present study aims to investigate and map the anthropogenic geomorphology of an urban area in Diadema, Southeast Brazil. Being part of the Metropolitan Region of São Paulo until the mid-1950s, its land use and occupation had rural characteristics and suffered a rapid transformation to urban and industrial activities from the 1960s onwards. Therefore, the anthropogenic intervention in the landforms presents characteristics quite different from the São Paulo's city, as the technologies and economic interests were different from the metropolis initial urbanization. These characteristics were valued in the selection of the study area, in the central region Diadema, which covers a zone of crystalline hills of the Paulistano Plateau. Adopting a grid of 700 m², mapped at scale 1:5000, the area frames important anthropogenic modifications in the landforms, such as slope cuttings, fillings, rectification of drainage systems and excavations in the fluvial plain for flood retention storages, changing the topography, volumes of mobilized materials and current processes. According to assumptions like the retrospective approach and geomorphological cartography, the phases of pre-urban disturbance and consolidated urbanization were investigated, quantifying the material mobilized by anthropogenic interventions through the creation of positive and negative features. Thus, this study obtained as its result the geomorphological mapping of the pre-urbanization period (original) and the one from consolidated urbanization, qualifying and quantifying the landform anthropogenic interventions, which made possible to recognize changes in the*

landforms and volume estimations of the mobilized materials, pointing out the anthropogenic interventions in the domain areas of interfluves and fluvial plains considered.

Keywords: *Anthropogeomorphology; Pre-urban and consolidated geomorphology; Volume of mobilized material.*

1. Introdução

A partir da primeira revolução industrial, com o surgimento das máquinas a vapor, a capacidade humana de modificação da cobertura vegetal original e mobilização de materiais tem ultrapassado em eficácia alguns processos geomorfológicos naturais (HOOKE, 1994; MCNEILL, 2000; DOUGLAS; LAWSON, 2001). No período posterior à Segunda Guerra Mundial, essa ação geomorfológica humana apresentou um novo avanço, momento que alguns autores chamam de Grande Aceleração, caracterizado pela expansão dos centros urbanos, incremento do dióxido de carbono na atmosfera e mudanças no uso da terra e nos reservatórios de águas, entre outros fatores (DOUGLAS, 1983; STEFFEN *et al.*, 2015; HOOKE *et al.*, 2012; GOUDIE; VILES, 2016).

No campo das ciências que estudam as transformações do meio segundo as ações humanas, a antropogeomorfologia é o estudo da modificação antrópica nas formas da superfície e as consequentes mudanças nos processos geomorfológicos atuantes (GOLOMB; EDER, 1964, NIR, 1983; DOUGLAS, 1983; SZABO, 2010). Esse conhecimento, recente, constitui importante componente a ser explorado no debate sobre o Antropoceno – tempo em que as atividades humanas começaram a ter impacto significativo nos sistemas da Terra (GOUDIE; VILES, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2019).

No contexto da expansão recente dos centros urbanos, o município de Diadema-SP encontra-se inserido na mancha urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com cerca de 32 km² de área total e 84,7 % de sua área urbanizada (IF, 2013), situando-se majoritariamente sobre os morros cristalinos do Planalto Paulistano e planícies fluviais da Bacia do Rio Tamanduateí (ROSS; MOROZ, 1997). O rápido e recente desenvolvimento urbano do município, iniciado a partir da década de 1960, acarretou importantes modificações no relevo, cujas categorias de intervenção modificaram completamente as topografias na superfície, imprimindo novas formas aos interflúvios e planícies fluviais existentes.

Nesse sentido, Diadema teve, no eixo da Rodovia dos Imigrantes, que liga a RMSP ao litoral, a topografia original descaracterizada por completo, ocorrendo modificações antropogênicas de grande porte, priorizando-se a circulação de pessoas e mercadorias em via de transporte consolidada que configura atualmente área chave da circulação de milhões de pessoas/dia, conectando inclusive o litoral e interior do Estado. Foram realizados taludes de corte, aterros, retificações de córregos e tamponamentos da drenagem, além de escavações na planície fluvial para reservatórios de contenção de cheias, instalações industriais, arruamentos e outras obras rodoviárias que, no município supracitado, resultaram em importantes modificações na topografia, nos materiais superficiais em termos de volume mobilizado e nos processos geomorfológicos vigentes. Essas intervenções incluíram a mobilização de materiais por escavações e depósitos jamais quantificados, não havendo noção do impacto desses processos na reconfiguração da superfície a partir da perturbação pelas atividades antrópicas.

No entanto, é possível, a partir da abordagem histórica, da cartografia geomorfológica e da utilização de modelos digitais de elevação (MDEs), verificar as mudanças e impactos dos materiais mobilizados, permitindo, assim, haver uma impressão destas modificações antrópicas com vistas a ações futuras que envolvam planejamento urbano. Portanto, o presente artigo tem como objetivo compreender a evolução da geomorfologia antropogênica urbana em uma região central do município de Diadema-SP, entre 1972 e 2010, valendo-se de pressupostos da antropogeomorfologia com ênfase na quantificação e espacialização da mobilização de materiais através de MDEs e reconstrução das intervenções antrópicas na geração de produtos cartográficos da morfologia original (pré-urbana) e morfologias antropogênicas urbanas consolidadas, inclusive com a sobreposição de ambas.

2. Materiais e métodos

A área de estudo localiza-se em Diadema, Estado de São Paulo, ao Sul da capital, entre os municípios de São Paulo e São Bernardo do Campo, possuindo uma área de 700 m² (**Figura 1**). As maiores altitudes estão localizadas no interflúvio principal, a 810 metros, enquanto que as menores altitudes se encontram nas planícies fluviais, a 760 metros, o que resulta numa amplitude altimétrica de 50 metros. O interflúvio

principal marca o divisor de águas das bacias do Córrego da Capela e do Córrego Floriano, tributários do Ribeirão dos Couros, bacia dos Rios Tamandateí e Tietê.

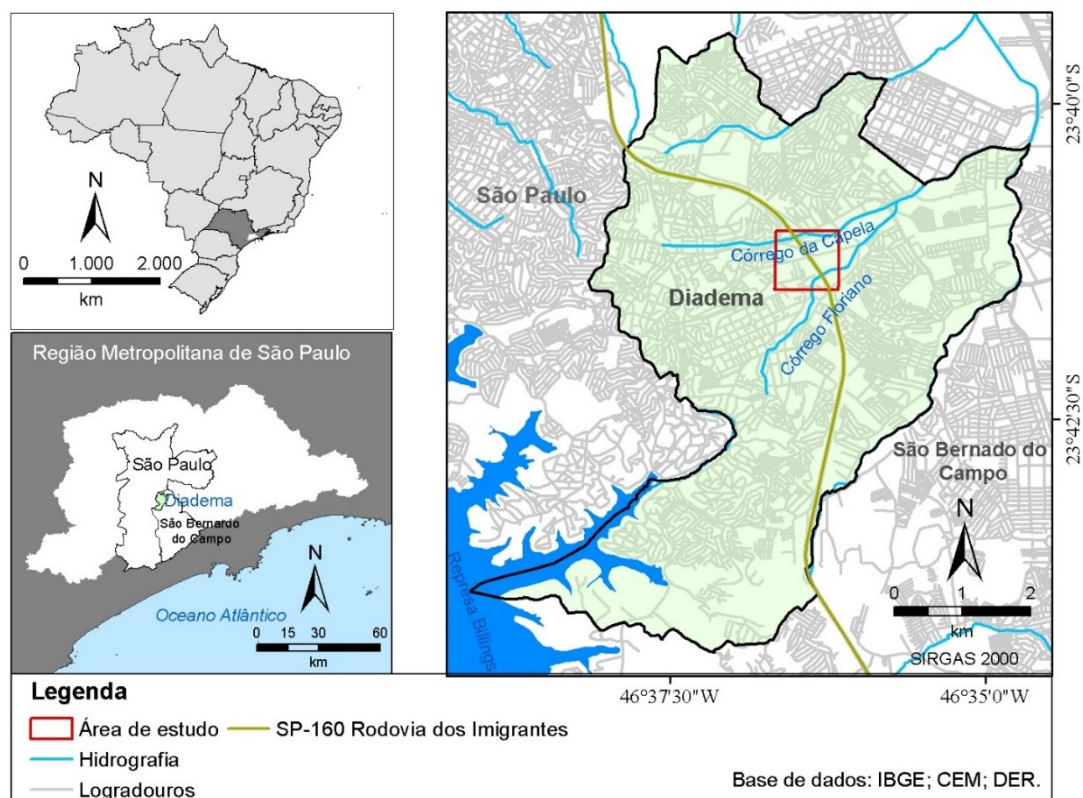


Figura 1: Área de Estudo. Elaboração: Autores, 2023.

A morfologia do terreno é caracterizada por morros e morrotes alongados, que fazem parte do Planalto Paulistano na Bacia do Alto Tietê, e as declividades predominantes na área de estudo situam-se entre 10 e 20% (ROSS; MOROZ, 1997). Segundo classificação climática de Köppen, o clima da região é subtropical úmido, com índices pluviométricos entre 1470 a 1500 mm anuais e temperaturas médias do mês mais frio entre 9°C e 15°C, sendo as do mês mais quente entre 17°C e 22°C (CEPAGRI, 2017). A vegetação original era constituída por elementos do domínio da Floresta Ombrófila Densa.

O sistema geomorfológico envolvido pode ser considerado pelo conceito de “*steady state*” quando entendido como o alcance da estabilidade ou “*climax*” dos processos ativos (NIR, 1983; PHILLIPS, 1992; GUNNEL, 2000; HUGGETT, 2007). A ação humana pode perturbar essa estabilidade devido à sua capacidade de agir contra a gravidade na retirada e reposição de materiais de aterro, concentrando atividades em pequenas áreas e acelerando ou desacelerando processos naturais que podem modificar ecossistemas (DOUGLAS, 1983; GOUDIE, 1993; GELL *et al.*, 2009; GOUDIE; VILES, 2016; GOUDIE, 2020). Assumindo tal fato, entende-se que a atividade humana exerce influência ou mesmo controle sobre a topografia, cobertura vegetal e morfologia fluvial em razão de seu nível tecnológico alcançado, com capacidade para modificar a superfície e caracterizar intervenção (TOY e HADLEY, 1987; MOROZ *et al.*, 1994; HADLEY; EMMETT, 1999; RUSTOMJI; PIETSCH, 2007; DÉNES; ERVIN, 2009; MIGON; LATOCHA, 2013; KASPRZAK; MIGON, 2015; MOROZ-CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2017). As intervenções antrópicas sobre a superfície podem ser diretas ou indiretas, ocasionando modificações topográficas positivas ou negativas, oriundas do acúmulo, remobilização ou retirada de materiais que, consequentemente, possibilitam modificar os materiais de superfície e a drenagem (BROWN, 1970; NIR, 1983; DOUGLAS, 1983; SZABO, 2010; PICA *et al.*, 2024).

Para a investigação da geomorfologia antropogênica, Rodrigues (1999) definiu alguns princípios metodológicos oriundos das abordagens da geomorfologia, em que neste trabalho destacam-se: 1) Observação das ações humanas como ações geomorfológicas; 2) Investigação da dinâmica e da história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios pré-perturbação; 3) Emprego e investigação das possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe, marcando mudanças e rupturas de declive, cortes de talude, intervenções lineares e areolares, modificações no uso da terra e delimitação de formas positivas e negativas associadas às atividades humanas; e 4) Utilização da noção de limiar geomorfológico,

aqui quantificando os materiais mobilizados. Nesse viés, reforça-se a abordagem retrospectiva como ferramenta para avaliar a dimensão das modificações antrópicas nos sistemas geomorfológicos (RODRIGUES, 2005; ZANATTA *et al.*, 2015; SILVA; RODRIGUES, 2018).

De acordo com Williams (2012), uma importante ferramenta para o entendimento das mudanças geomorfológicas é o Modelo Digital de Elevação Diferencial (MDEDs). A partir de dois MDEs que possuem o mesmo controle geodésico, pode se obter pela diferenciação dos mesmos os valores relativos às mudanças geomorfológicas (**Equação 1**):

$$\delta E = Z2 - Z1 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde δE é um MDE (MDED) que apresenta as mudanças na elevação e Z2 é um MDE de data posterior e Z1 de data anterior. δE apresenta as mudanças volumétricas em um mapa com valores negativos e positivos, representando a remoção e deposição respectivamente (WILLIAMS, 2012).

Assim, adotando-se a abordagem retrospectiva, a primeira etapa do trabalho definiu os períodos básicos pré-urbano e de urbanização consolidada, conforme recomendam Nir (1983) e Toy e Hadley (1987), não sendo indicado neste trabalho o período de urbanização ativa. Para caracterização das formas de relevo no contexto pré-urbano, se recorreu à Folha Planialtimétrica da Região Metropolitana de São Paulo da EMPLASA, de 1972, na escala 1:2.000, com curvas equidistantes de 1 metro e à Carta Topográfica da Cidade de São Paulo e Arredores do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC), de 1971, na escala 1:2.500, com curvas equidistantes de 10 metros. Além disso, foram utilizadas fotografias aéreas de 1953 disponíveis no site GEOSAMPA, literatura sobre a área de estudo (ROSS; MOROZ, 1997; GOUVEIA, 2010) e outros documentos históricos cedidos pela Prefeitura Municipal de Diadema (PMD) ou publicados pelo Centro de Memória de Diadema.

Para a caracterização do período de urbanização consolidada, recorreu-se às cartas topográficas e ortofotos referentes ao ano de 2010, ambas cedidas pela PMD, assim como relatórios técnicos do DAAE (2002; 2017) e levantamentos de campo com checagem das formas e feições mapeadas com sistematização segundo a abordagem antropogeomorfológica (GOLOMB; EDER, 1964; BROWN, 1970; NIR, 1983; RODRIGUES, 1999; RODRIGUES; COLTRINARI, 2005; LI *et al.*, 2010; LUZ; RODRIGUES, 2013; HARNISCHMACHER; ZEPP, 2014; SOUZA; PEREIRA, 2015; HENSELOWSKY *et al.*, 2021).

Como indicadores das formas de relevo originais (período pré-urbano) e formas antropogênicas (período de urbanização consolidada), foram verificados elementos dos sistemas do interflúvio (ROSS, 1992; SOUZA e FURRIER, 2019), da vertente (DYLIK, 1968; GOUDIE, 2020), da planície fluvial e da rede de drenagem (CHRISTOFOLLETTI, 1981; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017), que acabam por configurar sistemas hidrogeomorfológicos. Além de verificação em campo, esses elementos relativos às formas (domínios dos interflúvios e planícies, topografia original segundo setores de vertente convexos, côncavos e retilíneos e formas negativas e positivas segundo escavações e aterros, respectivamente) foram avaliados em ambiente SIG a partir da elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), representativos das fases pré-urbana e de urbanização consolidada (RIQUELME *et al.*, 2019). Os MDEs foram comparados por meio do Software *Arcgis* pela ferramenta *Surface Difference* usando a topografia das cartas de 1972 e as ortofotos de 2010, gerando um novo MDE que indica as modificações topográficas positivas ou negativas, a área afetada e o volume de materiais mobilizados (em valores estimados) (**Figura 2**).

Os resultados e a análise das modificações antrópicas permitiram confeccionar, com base na proposta Taxonômica de Ross (1990) na escala 1:5000, os mapas da geomorfologia pré-urbana, da geomorfologia urbana consolidada e o mapa da morfologia original e antropogênica, considerando que as intervenções antropogênicas podem ser mapeáveis a partir do 4º Táxon (PELOGGIA, 2005).

A morfologia original foi representada pelos domínios do interflúvio e das planícies fluviais, onde a drenagem pré-urbana e posteriormente de urbanização consolidada também foram sobrepostas. Na representação de dados morfométricos, foram mantidas as curvas de nível equidistantes de 5 metros baseadas na reconstrução topográfica (**Figura 2**). Já a geomorfologia antropogênica urbana consolidada foi feita com base nas modificações topográficas positivas e negativas, representadas em padrões hachurados distintos no Quarto Táxon. No Quinto Táxon foram indicados os elementos das vertentes e da planície fluvial, e, devidamente verificados em campo, foram selecionados para representação das principais modificações negativas e positivas, categorizadas em plataformas de aterro, planícies fluviais modificadas por aterros, topos aplainados, plataformas de escavação, reservatório (Piscinão) e colo antropogênico (Rodovia dos Imigrantes), além de planícies e vales fluviais modificados por escavação. Outros elementos das vertentes de

origem antropogênica representados foram as rupturas de declive côncavas e convexas, assim como os taludes.

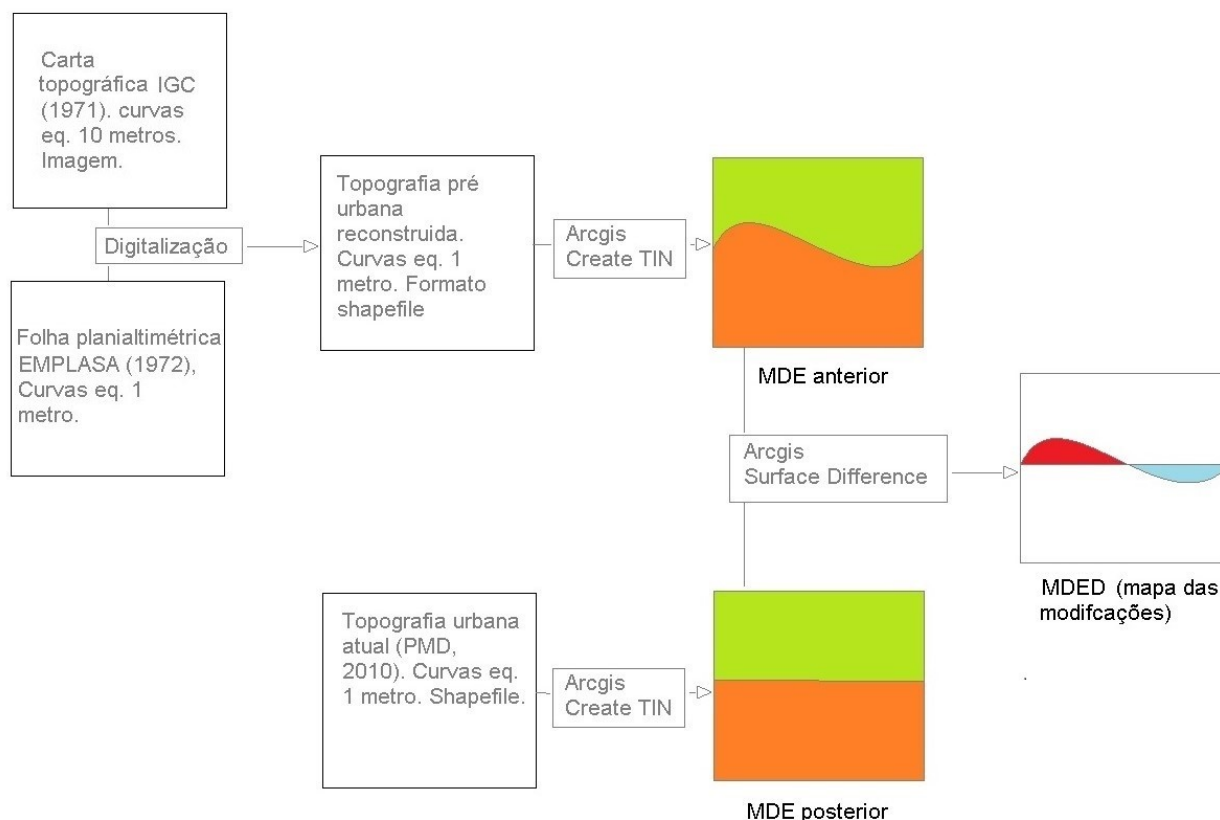


Figura 2: Fluxograma representando as etapas e os procedimentos para a obtenção em mapa das modificações antropogênicas com referências às fontes cartográficas coletadas para o presente estudo. Elaboração: Os Autores.

Os processos antropogênicos foram considerados em duas categorias: intencionais (perturbação em si voltada à intervenção planejada, e.g. DÉNES; ERVIN (2009)) e não intencionais (consequências inesperadas da perturbação imposta que não foram planejadas ou que tiveram desencadeamentos significativos e inesperados na modificação, e.g. RIQUELME *et al.*, 2019), subdivididas em formas de denudação e acumulação. Dos processos intencionais, foram representados o escoamento superficial concentrado (denudação) e a impermeabilização (acumulação). Dos processos não intencionais, foram representados o assoreamento (acumulação) e a mudança da cobertura vegetal, enquanto considerada como área de infiltração das águas.

A drenagem foi representada como retificada, tamponada e pouco modificada, sem discriminação das obras de microdrenagem (designadas por sarjetas, bocas de lobo, galerias, trincheiras e valas, entre outras) e macrodrenagem (associadas a canalizações, reservatórios de detenção e outros dispositivos) (SCARATI, 2012; TUCCI *et al.*, 2015).

3. Resultados e discussão

Até 1960, as principais modificações de origem antrópica e de relevância geomorfológica na área de estudo foram provenientes de atividades rurais ou relacionadas ao lazer, isto é, havia pouca ou nenhuma modificação topográfica significativa no período. Formas antropogênicas lineares, como estradas e trilhas, são verificáveis através das fotografias aéreas antigas e outros registros fotográficos históricos. No domínio do interflúvio estas intervenções tendem a acompanhar a linha de cumeada, e nas planícies tendem a acompanhar as margens dos córregos. Em relação às modificações areolares a tipificação do uso do solo e aerofotointerpretação, as principais modificações sugerem apenas a remoção ou substituição da cobertura vegetal, com poucos focos de exposição do solo (**Figura 3**).

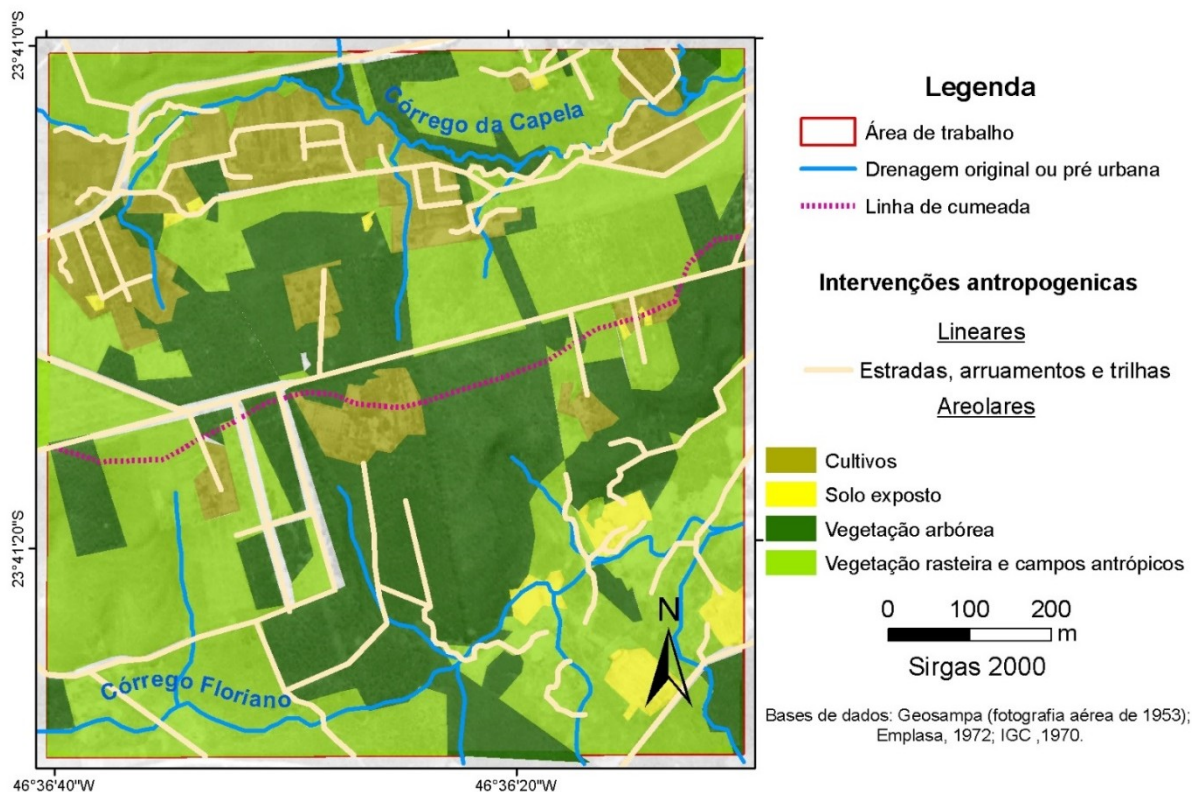


Figura 3: Intervenções antropogênicas no período pré-urbano. Fonte: GeoSampa (2023). Elaboração: Autores, 2023.

A representação cartográfica da geomorfologia do período pré-urbano ou original partiu da representação das áreas do interflúvio e das planícies fluviais, tipos de formas de relevo e elementos do Quarto Táxon da proposta de Ross (1990). Seguindo para os elementos do Quinto Táxon, os tipos de vertentes, buscou-se valorizar aspectos do interflúvio representando as áreas de topos convexos, colos e os setores côncavos das vertentes, estes últimos por serem importantes indicadores de processos hidrológicos, tais como surgências d'água ou nascentes. Para os elementos aqui considerados indicadores de processos do Sexto Táxon, optou-se por representar a linha de cumeada e os eixos de drenagem originais, bem como os dados morfométricos pelas curvas de nível. No domínio do interflúvio, há indicação dos topos convexos, divisores topográficos das sub-bacias tributárias do Córrego da Capela ou do Córrego Floriano, e os colos, destacando os setores de vertente predominantemente côncavos quanto aos demais, que podem ser convexos e/ou retilíneos (**Figura 4**). Já as planícies fluviais associadas aos Córregos da Capela e Floriano foram delimitadas generalizadamente segundo o fundo plano.

A partir da década de 1960, a transformação do uso do solo, de características rurais para atividades urbanas e industriais, modificou o interflúvio através dos nivelamentos topográficos por cortes e aterros nos topos, elaborando inclusive patamares ou plataformas nas vertentes (ROSS, 2001). Iniciou-se a retificação e tamponamento das drenagens e dos córregos, consolidando também as estradas e trilhas em avenidas, ruas ou vielas e novos logradouros. Na década de 1970, a instalação da Rodovia dos Imigrantes ocasionou no interflúvio uma redução topográfica de 15 a 20 metros, resultando em um colo antropogênico.

Durante a urbanização, a intensa modificação topográfica expôs às condições climáticas os materiais superficiais constituintes dos interflúvios (perfis de Cambissolos e Argissolos) e das planícies fluviais (sedimentos holocênicos e Neossolos Flúvicos). Assim, aumentou-se a erodibilidade das vertentes e ocorreu maior volume de materiais mobilizados em eventos chuvosos às planícies. Novos materiais foram inseridos ou depositados por meio das novas construções, dos arruamentos e revestimentos de calçadas, e do tamponamento e retificação do sistema de drenagem. O aumento da vazão pela impermeabilização e relevo mais suave no trajeto das águas, quando somado à ocupação dos leitos dos cursos d'água, ocasionou cheias com maior frequência e abrangência, fenômeno comum na ocupação das áreas urbanas densamente ocupadas (MOROZ-CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2017).

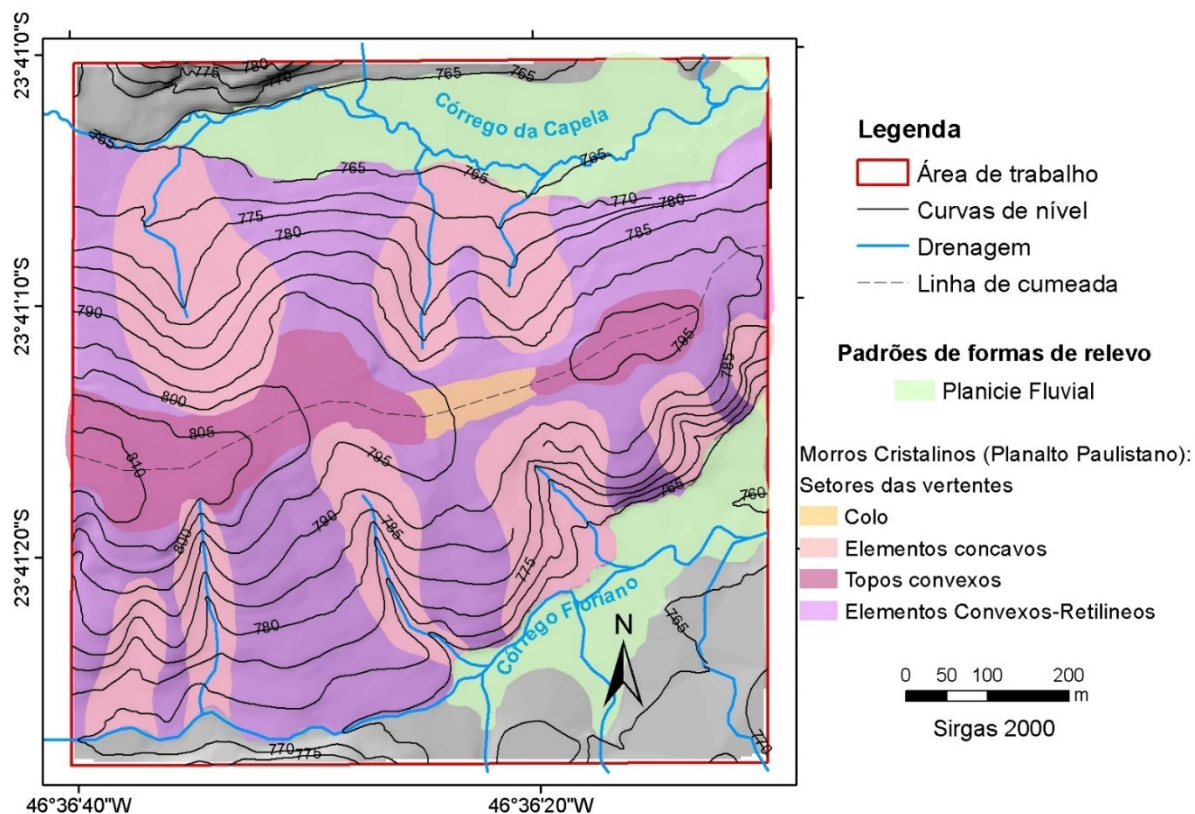


Figura 4: Geomorfologia original ou pré-urbana na área de estudo. Elaboração: Autores, 2023.

O resultado topográfico destas intervenções, que se apresentam nas formas negativas, ou seja, com redução topográfica, e positivas, com aumento topográfico (BROWN, 1970; DOUGLAS, 1983), foi a substituição das transições suaves de vertente por rupturas de declive (ARANHA; DIAS FERREIRA, 2020) e taludes (GILES, 1998). Setores com discontinuidades curvas em mudanças de declive do topo à meia vertente foram substituídos por declividades de maior e menor grau conforme a intervenção, ocorrendo redução topográfica de 15 a 20 metros no trecho de corte da Rodovia dos Imigrantes, e redução entre 10 e 15 metros na área referente ao Piscinão.

O estágio atual de urbanização é marcado pela consolidação e manutenção das principais modificações topográficas. Entre as formas positivas, se consolidaram os patamares de aterro ao longo das vertentes, e, na planície fluvial, as formas positivas caracterizaram os aterros relacionados à retificação dos córregos, arruamentos e instalações industriais. Entre as formas negativas no interflúvio estão os topos aplainados, patamares de corte nas vertentes e o colo antropogênico relativo à Rodovia dos Imigrantes, assim como há, na planície fluvial do Córrego da Capela, a área escavada para a implantação do Piscinão. Aqui foi consolidada a cobertura dos solos por materiais tecnogênicos, relacionados às construções civis e industriais, calçamentos e logradouros, oriundos da retirada e deposição por máquinas pesadas.

Dos processos de origem antropogênica intencionais, tomaram início a impermeabilização das vertentes e das planícies fluviais, cuja consequência não intencional foi a limitação da capacidade de infiltração dos solos. O Piscinão, de cota altimétrica mais baixa em relação ao nível da planície fluvial, sofreu deposição de sedimentos (processo natural consequente, não intencional), cuja manutenção periódica foi necessária para evitar assoreamento da estrutura (remoção de material por maquinário).

Para a representação cartográfica do período de urbanização consolidada, partindo do princípio de que é demonstrável cartograficamente a intervenção antropogênica no relevo a partir do Quarto Táxon (PELLOGIA, 2005; PELLOGIA *et al.*, 2014), foram delimitadas as formas negativas (escavacionais) e formas positivas (acrescionais), identificadas e representadas a partir dos resultados qualitativos do Modelo Digital de Elevação Diferencial. Estes dados qualitativos possibilitaram a elaboração de dois produtos cartográficos na escala 1:5.000 (**Figuras 5 e 6**). O primeiro produto cartográfico é o Mapa da Morfologia Original e Antropogênica (Figura 5), com a síntese ou sobreposição das morfologias pré-urbanas e urbanas atuais. Como já dito, partiu-se do princípio de que as formas antropogênicas podem ser representadas a partir do Quarto Táxon, sendo então a morfologia antropogênica representada pelas formas negativas e positivas e

a morfologia original representada pelas áreas do interflúvio e da planície fluvial, com a drenagem pré-urbana e de urbanização consolidada também sobrepostas.

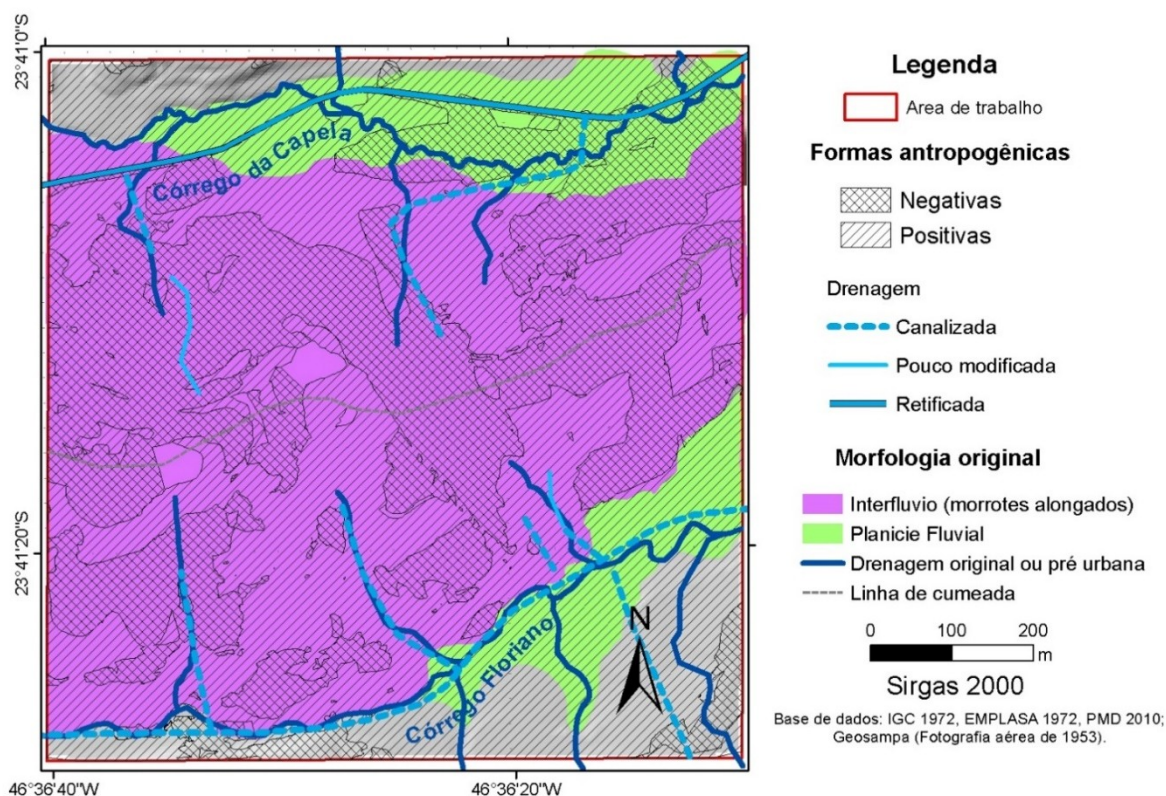


Figura 5: Morfologia original e antropogênica para o 4º Taxon, padrões de forma de relevo, da proposta de Ross (1990). Elaboração: Autores, 2023.

O segundo produto cartográfico é o Mapa da Geomorfologia Antropogênica Urbana Consolidada (**Figura 6**), que demonstra basicamente as modificações positivas e negativas representadas conforme o Quarto Taxon, enquanto que no Quinto Taxon são verificados os elementos das vertentes e das planícies fluviais. No cenário da geomorfologia urbana consolidada, as rupturas côncavas estão ligadas ao eixo da Rodovia dos Imigrantes, às demais vias pavimentadas ou aos patamares de aterro e escavação; já as rupturas convexas estão mais associadas aos patamares de aterro e aos cortes de talude ocorrentes nos eixos de drenagem, apontando áreas em que há predominância de escavações ou formas negativas.

Estas formas negativas dominam os padrões de formas de relevo na morfologia original comparada à antropogênica (Quinto Taxon), mostrando que há domínio dos terrenos escavados pela ação antrópica nos morrotes alongados e nos eixos de drenagem, contrastando com formas positivas que indicam os aterros nas planícies fluviais (**Tabela 1**). As informações referentes ao Sexto Taxon foram atreladas aos processos intencionais e não intencionais, com predominância dos primeiros, sendo o segundo circunscrito a consequências não desejadas da perturbação antrópica.

Conforme apresentado **Tabela 1** e na **Figura 6**, os resultados obtidos pelo *Arcgis Surface Difference*, para um intervalo de 38 anos (1972-2010), considerando apenas as delimitações da área de estudo, apontam que no interflúvio as formas antropogênicas de maior importância foram as formas negativas, correspondendo a 55% da área afetada (259.557 m²), sendo o material mobilizado estimado em 716.521 m³. As formas positivas corresponderam a 44% da área do interflúvio e apontaram a mobilização de 413.764 m³. As formas pré-urbanas preservadas corresponderam atualmente a uma área de 3.938 m², isto é, 0,8% da área total.

Na Planície do Córrego da Capela, as formas positivas foram as de maior ocorrência, cuja área (78.235 m²) correspondeu a 81% da Planície. O valor estimado na mobilização de materiais para este acréscimo topográfico foi de 235.549 m³. As formas negativas corresponderam a uma área de 18.172 m², com mobilização de 59.449 m³ de materiais. As formas pré-urbanas praticamente foram inexistentes.

Tabela 1: Valores estimados da área afetada e do volume de material mobilizado em relação às categorias de formas antropogênicas obtidas pela Diferença de MDES. Elaboração: Autores, 2023.

Sistema	Área (m ²)	%	Volume mobilizado (m ³)	%
Interflúvio	471.677	100	1.130.285	100
Formas positivas	208.182	44.1	413.764	36.6
Formas negativas	259.557	55	716.521	63.3
Formas pré-urbanas	3.938	0.8	-	-
Planície Córrego da Capela	96.455	100	291.998	100
Formas positivas	78.235	81	232.549	79.6
Formas negativas	18.172	18.8	59.449	20.3
Formas pré-urbanas	48	0.04	-	-
Planície Córrego Floriano	93.400	100	324.960	100
Formas positivas	89.086	95.3	322.228	99.1
Formas negativas	3.634	3.8	2.732	0.8
Formas pré-urbanas	680	0.7	-	-
Total	661.532	-	1.747.243	-

Na área correspondente à Planície do Córrego Floriano, as formas positivas caracterizaram 95% das modificações antropogênicas, com 322.228 m³ de materiais mobilizados. Assim como na Planície do Córrego da Capela, as formas pré-urbanas remanescentes expressaram praticamente categorias inexistentes.

Os impactos possíveis das formas negativas ocorrentes no domínio dos interflúvios são as áreas de solo exposto em função da retirada dos materiais de empréstimo ou movimentos de terra para as obras de microdrenagem, que acabam por aumentar o transporte de materiais erodidos pelos escoamentos superficiais. As planícies receptoras desses materiais, aliadas às formas positivas já somadoras de volumes mobilizados, podem apresentar reflexos na diminuição da capacidade de armazenamento em função do acúmulo de sedimentos, diminuindo a reservação de água no Piscinão ou obras de macrodrenagem durante os eventos chuvosos mais torrenciais.

Desse modo, é certo que a cartografia geomorfológica antropogênica é de extrema relevância para recuperar as características morfológicas em áreas amplamente urbanizadas, bem como auxiliar na compreensão dos impactos da urbanização (LUZ, 2014). Nesse contexto, o método cartográfico da geomorfologia antropogênica aparece não apenas como uma ferramenta demonstrativa das bases da análise morfológica, mas como um instrumento que permite ao poder público o uso racional do espaço urbano e a instalação de obras de engenharia. Portanto, os apontamentos aqui apresentados podem auxiliar na instalação de obras de micro e macrodrenagem, garantindo a mitigação de impactos no escoamento das águas e transporte de materiais para as áreas baixas das planícies envolvidas.

4. Conclusões

Nas pesquisas voltadas à geomorfologia antropogênica, a abordagem retrospectiva se mostra indispensável para o entendimento da evolução das intervenções antrópicas no relevo, podendo ser investigada segundo os períodos de pré-perturbação e de consolidação, apoiando-se principalmente no levantamento histórico das fontes cartográficas e documentais e na literatura, além de levantamentos de campo.

O uso de Modelos Digitais de Elevação e de Sistemas de Informação Geográfica como técnica de auxílio na abordagem retrospectiva é fundamental, pois há necessidade da identificação e mapeamento da morfologia antropogênica de acordo com interpolações geográficas, quantificação das modificações no terreno e diagnóstico qualitativo das intervenções humanas na superfície modificada.

Quando verificada sob a ótica das intervenções humanas, é nítido que as modificações ocorrem conforme configuração topográfica, rede de drenagem e processos associados originais. Portanto, esses condicionantes influenciam as intervenções conforme as atividades humanas avançam, tais como desmatamento, recortes de talude e aterros, modificação da rede de drenagem e conseqüentemente modificações nos processos de erosão e deposição. Logo, a avaliação do padrão histórico de uso e ocupação do solo, cuja retrospectiva deve ser construída em paralelo com a situação presente, torna-se procedimento indispensável na compreensão de mudanças antrópicas verificadas à ótica das sub-bacias compreendidas por domínios do interflúvio e das planícies fluviais.

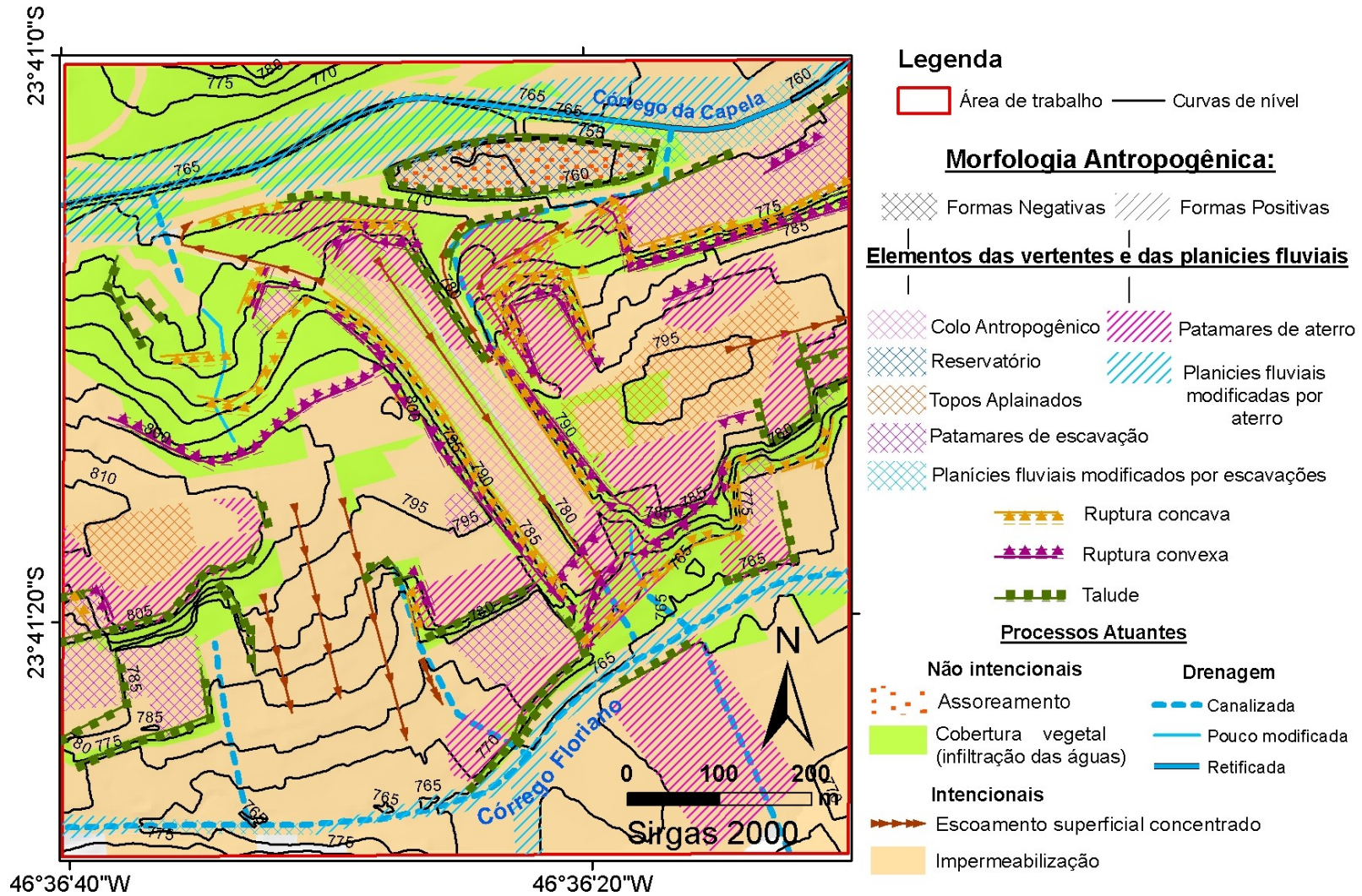


Figura 6: Geomorfologia antropogênica urbana consolidada. Elaboração: Autores, 2023.

As associações entre esses sistemas hidrogeomorfológicos e ações antrópicas podem ser mensuradas e mais bem avaliadas segundo propostas metodológicas antropogeomorfológicas, tais como avaliação das modificações do Homem na superfície por meio da noção retrospectiva e evolutiva e uso da cartografia geomorfológica. Ao se considerar o terreno quanto ao relevo, condições dos materiais superficiais e processos associados aos fluxos superficiais e subsuperficiais, há a possibilidade de significar esses elementos quanto às intervenções antrópicas do ponto de vista hidrodinâmico, ou de compreender a dinâmica e volume dos materiais remobilizados em função dos aterros e escavações destinados às obras de engenharia envolvendo a micro e macrodrenagem.

Os resultados demonstraram a forma diferenciada da ação geomorfológica humana no relevo, tanto na capacidade de movimentação de materiais quanto nas novas configurações tridimensionais e processos resultantes. Entre 1972 e 2010, as intervenções antrópicas verificadas no terreno da área de estudo indicaram que as formas negativas, ou aquelas em que há redução topográfica na superfície, tiveram menos impacto nas planícies fluviais do que nos interflúvios; já as formas positivas, ou as modificações humanas que provocaram aumento topográfico na superfície, foram mais significativas nas planícies fluviais do que no domínio dos interflúvios, fenômenos medidos por área de movimentação do terreno e quantidade de materiais mobilizados em m³.

Os produtos cartográficos gerados, apoiados na abordagem taxonômica da classificação do relevo e sua representação cartográfica, não sendo menos complexos do que a interpretação de processos em que se exigem escalas de maior detalhe, atendem a demanda de comunicar a diferentes campos do conhecimento os resultados dos estudos geomorfológicos que visam a representação e compreensão da evolução das modificações antrópicas na superfície. Estas demandas se intensificam quando se investigam áreas de grande densidade demográfica e alta densidade de drenagem, pois são cada vez mais evidentes as necessidades de levantamentos, monitoramentos e previsões dos impactos exercidos pelas atividades humanas, problemas urgentes em áreas intensamente urbanizadas do Brasil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Referências bibliográficas

ARANHA, R. D.; DIAS FERREIRA, R. P. Landforms and surficial formations in the ribeirão do baú basin, são bento do sapucaí, state of São Paulo, Brazil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 41, n. 1, p. 87–115, 2020.

BROWN. E. H. Man Shapes the Earth. **Geographical Journal**. Vol 3 No 1. 1970. Royal Geographical Society.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_154.html>

DAEE. Departamento de águas e energia elétrica - Secretaria de Recursos hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo. **Relatório final de obras: Reservatório de Retenção de Cheias – RC-6/ECOVIAS IMIGRANTES**. 2002.

DAEE. Departamento de águas e energia elétrica - Secretaria de Recursos hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo. **Memorial Descritivo de Cálculo do Projeto Geotécnico: Reservatório de Retenção de Cheias – RC-6/ECOVIAS IMIGRANTES**. 2017.

DÉNES, L.; ERVIN, P. Mapping direct human impact on the topography of Hungary. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 53, n. SUPPL. 2, p. 215–222, 2009.

DOUGLAS, I. The Geomorphology of the Cities. In: **The Urban Environment**. 1983. London. Edward Arnold.

- DOUGLAS, I.; LAWSON, N. The human dimensions of geomorphological work in Britain. **Journal of Industrial Ecology**, n. 4, p. 9–33, 2001.
- DYLIK, J. Notion du Versant en Geomorphologie. Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences, **Série de Sciences Geol. et Geogr.**, v. 16, n. 2, p. 125-132, 1968.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo, Edgard Blücher, 1981.
- GELL, P.; FLUIN, J.; TIBBY, J.; *et al.* Anthropogenic acceleration of sediment accretion in lowland floodplain wetlands, Murray-Darling Basin, Australia. **Geomorphology**, v. 108, n. 1–2, p. 122–126, 2009. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.12.020>>.
- GILES, P. T. Geomorphological signatures: classification of aggregated slope unit objects from digital elevation and remote sensing data. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 23, n. 7, p. 581–594, 1998.
- GOLOMB, B.; EDER, H. M. Landforms made by man. **Landscape** 14, p. 4-7, 1964.
- GOUDIE, A. Human influence in geomorphology Introduction : historical analysis. **Geomorphology**, v. 7, p. 37–59, 1993.
- GOUDIE, A. The human impact in geomorphology – 50 years of change. **Geomorphology**, v. 366, p. 106601, 2020. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.002>>.
- GOUDIE A, VILES HÁ. **Geomorphology in the Anthropocene**. New York: Cambridge University Press.2016.
- GOUVEIA, I.C.M. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) -Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: 10.11606/T.8.2010. tde-31012011-123012.
- GUNNELL, Y. The characterization of steady state in Earth surface systems: Findings from the gradient modelling of an Indian climosequence. **Geomorphology**, v. 35, n. 1–2, p. 11–20, 2000.
- HADLEY, R. F.; EMMETT, W. W. **South Sheridan Boulevard in southwest Denver** , v. 34, n. 3, p. 629–637, 1999.
- HOOKE, R. L.; MARTÍN-DUQUE, J. F.; PEDRAZA, J. Land transformation by humans: a review. **GSA Today**, v. 22, n. 12, p. 4–10, 2012.
- HARNISCHMACHER, S.; ZEPP, H. Mining and its impact on the earth surface in the Ruhr district (Germany). **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 58, n. July, p. 3–22, 2014.
- HENSELOWSKY, F.; RÖLKENS, J.; KELTERBAUM, D.; BUBENZER, O. Anthropogenic relief changes in a long-lasting lignite mining area ('Ville', Germany) derived from historic maps and digital elevation models. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 46, n. 9, p. 1725–1738, 2021.
- HOOKE,R, L.,On the efficacy of humans as geomorphic agents. **USA Today** 4, 1994.
- HUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. London : Routledge New York, 2007, 386 p.
- IF. Instituto Florestal. Governo do Estado de São Paulo. **Mapa Florestal dos Municípios do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/sifesp/mapas-municipais/>>
- KASPRZAK, M.; MIGON, P. Historical and recent floods in the West Sudetes, Central Europe – the geomorphological dimension. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Supplementary Issues, v. 59, n. 3, p. 73–97, 2015.

LI, Y.; WU, J.; HOU, S.; *et al.* Palaeoecological records of environmental change and cultural development from the Liangzhu and Qujialing archaeological sites in the middle and lower reaches of the Yangtze River. **Quaternary International**, v. 227, n. 1, p. 29–37, 2010. Elsevier Ltd and INQUA. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2010.05.015>>.

LUZ, R. A. DA; RODRIGUES, C. Reconstituição Geomorfológica De Planícies Fluviais Urbanizadas: O Caso Do Rio Pinheiros, São Paulo-Sp. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 47–57, 2013.

LUZ, R. A. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MCNEILL, J. R. **Something New Under the Sun: an Environmental History of the Twentieth- Century World**. W.W. Norton & Company, New York, 2000.

MIGÓN, P.; LATOCHA, A. Human interactions with the sandstone landscape of central Sudetes. **Applied Geography**, v. 42, p. 206–216, 2013.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – RMSP. **GEOUSP: Espaço e Tempo** (Online), v. 21, n. 1, p. 257, 2017.

MOROZ, I. C.; CANIL, K.; ROSS, J. L. S. **Problemas Ambientais Nas Áreas De Proteção Aos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**. Geography Department, University of Sao Paulo, 1994.

NIR, D. Man, A **Geomorphological Agent: An Introduction to Anthropic Geomorphology**. Keter Publishing House, Jerusalem, 1983.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, n.16, p.24-31, 2005.

PELOGGIA, A. U. G.; SILVA, É. C. N.; NUNES, J. O. R. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscape as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, 2014.

PHILLIPS, J. D. Nonlinear dynamical systems in geomorphology: revolution or evolution? **Geomorphology**, v. 5, n. 3–5, p. 219–229, 1992.

PICA, A. *et al.* **Urban Geomorphology Methods and Applications as a Guideline for Understanding the City Environment**. [S. l.], p. 1–28, 2024.

RIQUELME, A.; DEL SOLDATO, M.; TOMÁS, R.; *et al.* Digital landform reconstruction using old and recent open access digital aerial photos. **Geomorphology**, v. 329, p. 206–223, 2019. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.01.003>>.

RODRIGUES, C.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; DA LUZ, R. A.; *et al.* Anthropocene and geomorphological changes: Fluvial systems in the centenary Urbanization process of são paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 40, n. 1, p. 105–123, 2019.

RODRIGUES, C. On Anthropogeomorphology. In: **Regional Conference on Geomorphology**, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, IAG/UGB, 1999.

RODRIGUES, C.. Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: um exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 17, p. 101-111, 2005.

RODRIGUES, C.; COLTRINARI, Lylian D Z . Urbanization and geomorphologic changes in humid tropical invironment: methodological proposal for Sao Paulo/Brazil. In: **Sixth International Conference on Geomorphology**, 2005, Zaragoza. Proceedings Sixth International Conference on Geomorphology, 2005.

- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e planejamento**. Editora Contexto. São Paulo. 1990.
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, n.6, p.17-29. 1992.
- ROSS, J. L. S. Inundações e Deslizamentos em São Paulo: Riscos da Relação Inadequada Sociedade Natureza. **Revista Territorium**, P. 15-23, n.8, 2001
- ROSS, J. L. S.; MOROZ I, C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo Escala 1:500.000**. Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada – IPT/FAPESP, 1997.
- RUSTOMJI, P.; PIETSCH, T. Alluvial sedimentation rates from southeastern Australia indicate post-European settlement landscape recovery. **Geomorphology**, v. 90, n. 1–2, p. 73–90, 2007.
- SCARATI, J. R. M. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente? **Artigo Científico**, p. 1-11, 2012.
- SILVA, J. D. P.; RODRIGUES, C. Avaliação histórica de taxas de colmatagem e sua relação com a evolução da urbanização em bacias hidrográficas pareadas em Guarapiranga-SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo** (Online), v. 22, n. 1, p. 172–190, 2018.
- SOUZA, J. C. DE; PEREIRA, U. C. Antropogeomorfologia – O Homem Como Agente Geomorfológico: Base Teórica E Análise Acerca Da Extração Do Amianto Crisotila Em Minaçu (Go). **Geoambiente On-line**, n. 24, p. 32–48, 2015.
- SOUZA, A. S.; FURRIER, M. Técnicas de mapeamento geomorfológico aplicadas em escala de detalhe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, p. 89-103, 2019.
- STEFFEN, W.; BROADGATE, W.; DEUTSCH, L.; GAFFNEY, O.; LUDWIG, C. The trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration. **The Anthropocene Review**, 2, p. 81–98, 2015.
- STEVAUX, J.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. Curitiba: Oficina de Textos, 2017, 320p.
- SZABO J. Anthropogenic geomorphology: subject and system. In: Szabó J, Dávid L, Lóczy D (eds) **Anthropogenic Geomorphology**. Dordrecht: Springer. 2010.
- TOY, T. J.; HADLEY, R. F. **Geomorphology and reclamation of disturbed lands**. Academic Press, 1987, 480p.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre – RS, v. 5, 2015.
- ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. O Uso Da Terra E Alterações Do Relevo Na Alta Bacia Do Ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (Sp): Um Estudo a Partir De Princípios Da Antropogeomorfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, 2015.
- WILLIAMS, R. D. DEMs of Difference. **Geomorphological Techniques**, [S. l.], v. 2, p. 1–17, 2012.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).