

**Estudo do meio físico quanto à erosão acelerada como diagnóstico para
análise da disponibilidade hídrica em sub-bacias hidrográficas no Estado
de São Paulo - Brasil**

Ana Paula Pereira Carvalho

Doutoranda em Ciências Ambientais, UFSCar, Brasil
appc.engambiental@gmail.com

Ana Claudia Pereira Carvalho

Doutoranda em Ciências Ambientais, UFSCar, Brasil
anaclaudiaengamb@gmail.com

Reinaldo Lorandi

Professor Sênior, UFSCar, Brasil
lorandir@gmail.com

José Augusto Di Lollo

Professor Doutor, UNESP, Brasil
jose.lollo@unesp.br

Luiz Eduardo Moschini

Professor Doutor, UFSCar, Brasil
lemoschini@ufscar.br

Eduardo Goulart Collares

Professor Doutor, UEMG, Brasil
eduardo.collares@uemg.br

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi realizar o estudo quanto ao potencial de risco à erosão acelerada para fins de diagnosticar a interferência deste processo na disponibilidade hídrica, com base na análise de atributos do meio físico, em duas sub-bacias hidrográficas de 4ª ordem de ramificação, localizadas no sudeste do estado de São Paulo, sendo elas: Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Taparanas (SBHRT) e Sub-bacia hidrográfica do Córrego das Onças (SBHCO). O método adotado consistiu na preparação e transformação dos planos de informação de formato vetorial para matricial, todos na escala de 1:50.000. Posteriormente, envolveu a reclassificação dos planos de informação, bem como, a atribuição de pesos considerando suas classes, utilizando de ferramentas do software ArcGIS10.5®. A seguir, os dados foram processados por meio do comando Raster Calculator para a elaboração de uma Carta de Potencial ao Escoamento Superficial de ambas as sub-bacias hidrográficas que subsidiou a elaboração da Carta de Risco Potencial à Erosão Acelerada. Na SBHRO, foram encontradas classes de elevado potencial de escoamento superficial, e classes de potencial de menor risco à erosão. As duas sub-bacias hidrográficas apresentaram potencialidade diferente devido suas características físicas, visto que, a SBHRT localiza-se em áreas de terrenos sedimentares, com predomínio de matriz arenosa, que são mais propícios a ocorrência de feições erosivas, enquanto que a SBHRO está situada em terrenos cristalinos, predominantemente de matriz argilosa.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Recursos Hídricos. Processos Erosivos. Sistema de Informações Geográficas.

1 INTRODUÇÃO

As informações sobre os eventos de natureza hidrológica, descritos em Zuquette (2018), podem envolver estudos de eventos relacionados com a concentração e acúmulo de águas, que “podem ter causas naturais (chuvas), antropogênicas (construção de um barramento), sempre associadas às condições de relevo tanto em escala regional quanto local (natural ou antropogênica), materiais geológicos (taxa de infiltração) e a vegetação”.

Os escoamentos superficiais e de base, os fluxos em corpos d’água, os processos erosivos e o carreamento de sedimentos compõem a relação de diversos processos naturais primários, que configuram de forma contínua o perfil hidromorfológico de uma bacia hidrográfica. Desta forma, as práticas de monitoramento e análise, bem como, a mensuração destes processos são elementos fundamentais para uma pesquisa em escala de bacia hidrográfica (KAFFAS; HRISSANTHOU; SEVASTAS, 2018).

O aumento no escoamento superficial é uma questão preocupante em inúmeras bacias hidrográficas do mundo (FOLEY et al., 2005). Este processo é conduzido por diversos fatores, como, uso e cobertura do solo, rede fluvial, formas do terreno, topografia (Xu e Zhao, 2016) e, além disso, dá origem a fenômenos como erosão, inundação, fluxos de detritos, podendo causar enormes danos. A perda de solo e a transferência de poluentes presentes nos solos são outros impactos que este processo hidrológico pode impor ao ambiente (LAGADEC et al., 2016).

Além do entendimento do processo de escoamento superficial e suas respostas no ambiente, é necessário compreender a erosão, que consiste em um processo geomórfico que desagrega partículas de solo, fragmentos de rochas, matéria orgânica de seu local de origem, sendo transportados para outras áreas por meio de vários processos, sendo o escoamento superficial um dos processos que condiciona de forma natural o surgimento de processos erosivos (POESEN, 2018). Entender o processo erosivo permite verificar o grau de degradação do solo, para viabilizar meios sustentáveis para reduzir a perda de solo (DI STEFANO e FERRO, 2017).

Para analisar a criticidade dos processos erosivos e estabelecer medidas mitigadoras para uma adequada gestão do terreno, é fundamental avaliar as ações do processo de escoamento superficial e dos sedimentos induzidos pelas atividades antrópicas, bem como,

considerar a alteração climática (BERIHUN et al., 2020), além disso, é importante realizar o estudo quanto aos riscos a erosão e a determinação de áreas com alta potencialidade a ocorrência de processos erosivos, destacando dessa forma, as áreas que carecem de planejamento (GHOLAMI et al., 2018).

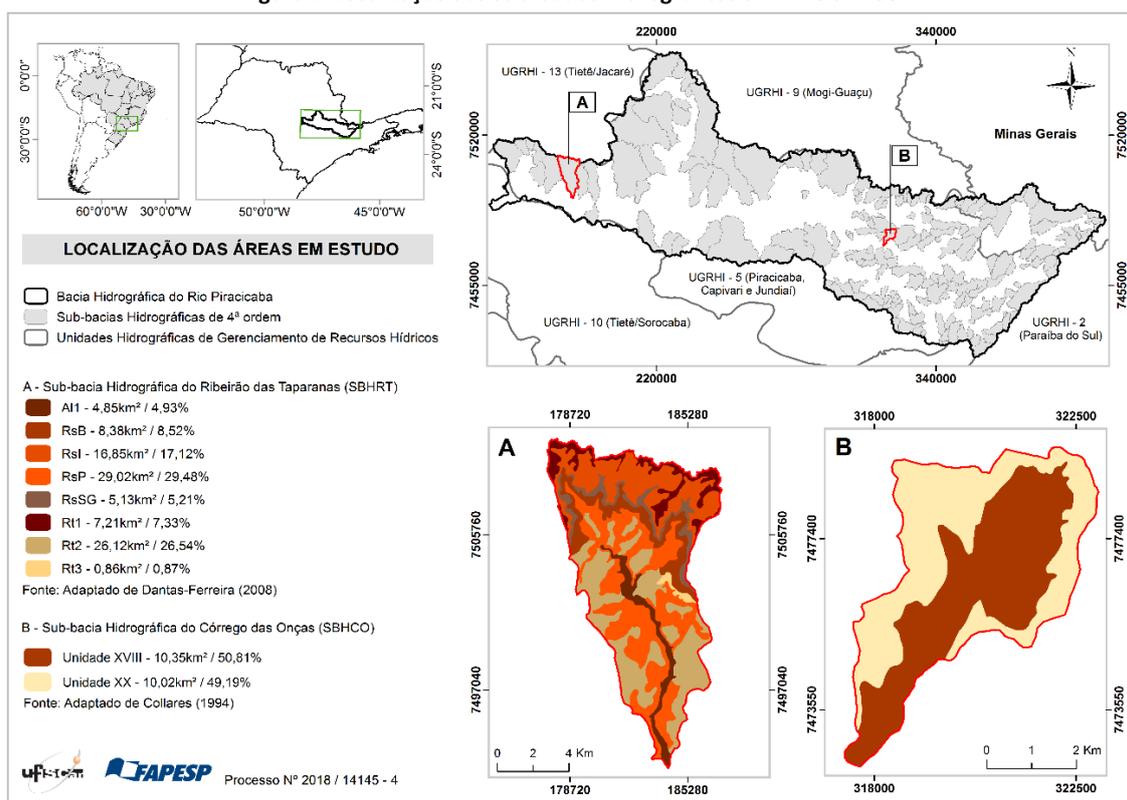
O objetivo deste trabalho envolveu a elaboração da Carta de Potencial ao Escoamento Superficial como um produto intermediário usado para a geração da Carta de Risco Potencial à Erosão Acelerada para duas sub-bacias hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, denominadas de Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Taparanas (SBHRT) e Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças (SBHCO), com a finalidade de diagnosticar a interferência deste processo na disponibilidade hídrica, com base na análise de atributos do meio físico.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Posicionamento Geográfico

As sub-bacias hidrográficas investigadas, encontram-se inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) que, por sua vez, constitui, junto com os rios Capivari e Jundiá, uma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 5) do Estado de São Paulo (sudeste brasileiro; Figura 1). Estes mananciais de 4ª ordem (Strahler, 1957) foram escolhidos, dentre oito (8), por estarem inseridos em terrenos sedimentares (Ribeirão das Taparanas) e cristalinos (Córrego das Onças), respectivamente. As Tabelas 1 e 2 apresentam a descrição das classes de materiais inconsolidados das sub-bacias hidrográficas.

Figura 1: Localização das Sub-bacias Hidrográficas SBHRT e SBHCO



Fonte: AUTORES.

Tabela 1: Descrição das classes dos materiais inconsolidados da SBHRT

Unidades	Descrições
SBHRT	Al1 Solos retrabalhados - aluviões arenosos e com pedregulhos
	RsB Solos residuais da Formação Botucatu - arenosos
	Rsl Solos residuais da Formação Itaqueri - arenosos/silto-argilosos
	RsP Solos residuais da Formação Pirambóia - arenosos
	RsSG Solos residuais da Formação Serra Geral - argilo-siltosos
	Rt1 Solos retrabalhados - arenosos da Serra, associados a fácies Concrecionárias
	Rt2 Solos retrabalhados - arenosos em Topo
Rt3 Solos retrabalhados - areno-argilosos	

Fonte: DANTAS-FERREIRA (2008).

Tabela 2: Descrição das classes dos materiais inconsolidados da SBHCO

Unidades	Descrições
SBHCO	<p>Nos locais com declividades inferiores a 15% há predominância dos solos retrabalhado laterítico, argiloso, e residual laterítico, com granulometria bem distribuída, apresentando espessura variando em torno de 2 metros. Abaixo ocorre o solo saprolítico arenoso, com presença de pouca mica. Na maior parte da unidade, nas regiões de declividades acentuadas, praticamente não há ocorrência de solo laterítico. Nestas áreas ocorrem o solo saprolítico, arenoso, com pouca mica, e, principalmente, o saprolito arenoso. Em regiões mais milonitizadas apresentam o solo saprolítico areno-siltoso, mediamente micáceo. Na área há muitos matacões.</p> <p>Há predominância do solo laterítico argiloso, nos topos de morros, apresentando espessura superior a 3 metros. Na meia encosta ocorre o saprolito de areia siltosa, com espessura acima de 5 metros. Em declividades (>20%) o solo laterítico e o saprolítico praticamente não há ocorrência. Nas declividades (15-20%) predominam o solo saprolítico arenoso, pouco ou mediamente micáceo, com profundidade de aproximadamente 1 metro. Há também ocorrência de uma fina camada de solo laterítico argiloso.</p>
	Unidade XVIII
Unidade XX	

Fonte: COLLARES (1994).

2.2 Caracterização Ambiental

Regionalmente, o território investigado encontra-se delimitado, em termos litoestratigráficos, por terrenos predominantemente sedimentares Fanerozóicos (Mesozóicos), associados à um derrame magmático básico e, terrenos cristalinos do Fanerozóico (Eopaleozóico) e Proterozóico Inferior (São Paulo-SICCT-PROMOCET-IPT,1981).

Conforme informações geomorfológicas obtidas de Ross e Moroz (1997), na escala 1:500.000, a área estudada apresenta parte da área do projeto localizada na Unidade Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, com predominância das Unidades Morfoescolturaes Planalto de Jundiá e Serra Negra/Lindóia e, Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, abrangendo parcialmente a Unidade Morfoescolturaal Depressão Periférica Paulista.

Com base em ponderações emitidas por Nakazawa (1994), na escala 1:500.000, envolvendo fenômeno erosivo específico (ravinas), menciona-se as seguintes características desse sítio (BHRP): a) da região leste (Bragança Paulista) ao centro da bacia hidrográfica (Limeira), predominam áreas com Alta Suscetibilidade à erosão, induzidos por movimentos de massa e de Baixas Suscetibilidades aos processos erosivos; b) do centro-oeste da área investigada (Piracicaba) até a foz no Rio Tietê, sobressaem-se superfícies com Muito Alta a Alta Suscetibilidade à erosão por sulcos, ravinas e voçorocas.

Conforme o sistema proposto por Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado como mesotérmico úmido subtropical apresentando inverno seco, em que a temperatura do mês mais frio é menor que 18°C, enquanto que, do mês mais quente é superior a 22°C. Há uma considerável diferença, em termos de balanço hídrico, entre os períodos de estiagem (maio a setembro) e os períodos chuvosos (outubro a abril).

Numa discriminação do espaço local, essas 2 (duas) sub-bacias investigadas apresentam as seguintes especificidades, na escala 1:50.000:

2.2.1 Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão das Tapananas (SBHRT)

Localiza-se na porção oeste da BHRP, compreendendo uma área de 98,42km², com altitude entre 445 a 928 metros, apresentando densidade de drenagem na ordem de 1,38km/km². Esta sub-bacia hidrográfica, investigada por (Dantas-Ferreira, 2008), apresenta baixas classes de declividade (<6% e 6-12%) correspondendo acima de 50% de sua área. A inclinação do terreno nesta área favorece o processo de infiltração, permitindo a recarga dos aquíferos. De forma pontual, a SBHRT apresenta declividades altas (>30%) próximas a sua cabeceira, onde se situa a Serra de Torrinha, isto condiciona um aumento da velocidade do escoamento superficial inibindo a capacidade de infiltração do terreno. Quanto às formas de terreno, a sub-bacia hidrográfica se destaca com as classes de geomorfologia convergentes e divergentes.

Com relação às unidades geológicas, a área está localizada em terrenos sedimentares, cuja matriz se caracteriza como maior predominância de material arenoso. As unidades geológicas da SBHRT compreendem as formações desde a mais antiga a mais moderna:

Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Itaqueri. A Formação Pirambóia de origem fluvio-continental é composta por diversos arenitos, apresenta as rochas mais antigas que afloram na área, do período Triássico. A Formação Botucatu está sobreposta aos arenitos da Formação Pirambóia, ocorre principalmente, na porção inferior das escarpas e no pé da Serra. A Formação Serra Geral ocorre no alto da Serra, ao longo das escarpas na base do talude e em anomalias intrusivas dentro da Formação Pirambóia. A segunda maior formação é a Itaqueri, localizada no topo da Serra, que recobre os derrames basálticos da formação Serra Geral.

2.2.2 Sub-bacia Hidrográfica do Córrego das Onças (SBHCO)

Situada à leste da BHRP, apresenta uma área de 20,37km² e densidade de drenagem de 2,35km/km². A hipsometria desta área varia de 752 a 1140 metros, vale ressaltar, que as áreas mais elevadas possuem maior potencialidade de infiltração permitindo o armazenamento de água no solo, que pode manifestar superficialmente em forma de nascentes, contribuindo assim com a oferta hídrica superficial. Esta sub-bacia hidrográfica, caracterizada por (Collares, 1994), apresenta terrenos mais acidentados, com maior ocorrência de classes de declividade média a muito alta (12-20%, 20-30% e >30%), abrangendo acima de 70% de sua área.

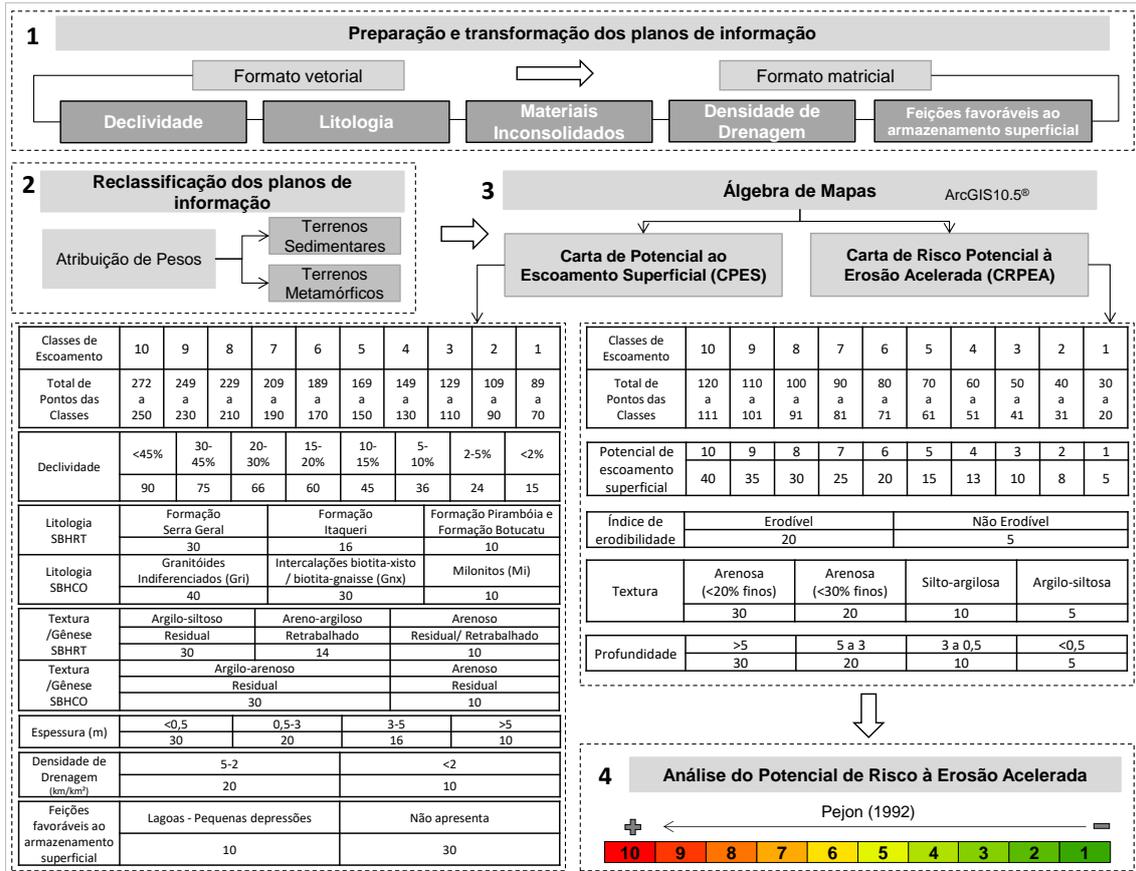
Esta sub-bacia hidrográfica apresenta os seguintes tipos litológicos: Granitóides Indiferenciados; Intercalações biotita-xisto/biotita-gnaiss; e Milonitos. Os Granitóides Indiferenciados consistem nos granitos do Complexo Morungaba e a uma porção da Suite Migmatítica Catapora (CAMPOS NETO et al., 1984). Os diversos granitos se caracterizam com baixo a médio teor de minerais ferro-magnesianos e lentes anfibolíticas associadas. Com relação as intercalações biotita-xisto/biotita-gnaiss, é composta por gnaisses e xistos com alto teor em máficos e com pouca quantidade de quartzo, nesta área os solos são menos profundos e apresenta uma espessa camada de saprolito. Enquanto que os milonitos são rochas muito milonitizadas, oriundas de granitóides, xistos e gnaisses. Em geral, os solos desenvolvidos na região são de textura argilosa.

Com relação à geomorfologia local, a SBHCO apresenta maior ocorrência das classes convergentes côncavas e as divergentes convexas. As áreas convergentes côncavas permitem maior concentração e consequentemente maior escoamento, diferente das áreas divergentes convexas que proporcionam maior dispersão do escoamento, devido ao topo ser mais estreito que a base.

3 METODOLOGIA

A Figura 2 apresenta as etapas metodológicas realizadas para identificar o Potencial de Risco à Erosão Acelerada das sub-bacias hidrográficas SBHRT e SBHCO, inserida no contexto geral de um projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (LORANDI et al., 2019).

Figura 2: Etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho



Fonte: AUTORES.

Para a elaboração da Carta de Risco Potencial à Erosão Acelerada (CRPEA), para as sub-bacias hidrográficas em estudo, foi aplicada uma metodologia brasileira desenvolvida por Pejon (1992). O método adotado condiz inicialmente com a elaboração de uma Carta de Potencial ao Escóamento Superficial (CPES), considerando somente atributos do meio físico, a partir deste documento cartográfico associado com mais três atributos (Índice de Erodibilidade, Textura e Profundidade) se tem a CRPEA.

A primeira etapa deste trabalho consistiu na preparação e transformação dos planos de informação (Declividade, Litologia, Materiais Inconsolidados, Densidade de Drenagem e Feições Favoráveis ao Armazenamento Superficial) de formato vetorial para matricial, sendo todos na escala de 1:50.000. Logo, os planos de informações foram reprojatados utilizando o sistema cartográfico de referência SIRGAS 2000 e também, a projeção cartográfica *Universal Transversa de Mercator*.

Em seguida, foram reclassificados os planos de informação, por meio do comando *Reclassify* do software ArcGIS10.5®, sendo esta etapa essencial para a sobreposição dos planos de informação. Logo após, foram atribuídos os pesos para a classe de cada atributo necessário para a elaboração da CPES. Vale ressaltar que, devido às sub-bacias hidrográficas apresentarem características físicas diferentes, foram atribuídos pesos respeitando as especificidades de cada uma destas.

A seguir, foram realizadas duas álgebras de mapas, a primeira consistiu na elaboração da CPES para as duas sub-bacias hidrográficas em estudo, considerando seis atributos do meio

físico, sendo eles: Declividade; Litologia; Textura/Gênese; Espessura; Densidade de Drenagem; Feições favoráveis ao armazenamento superficial. Para a sobreposição dos planos de informação (Figura 3), foi utilizado o comando *Raster Calculator* do software ArcGIS10.5® (LORANDI et al., 2020).

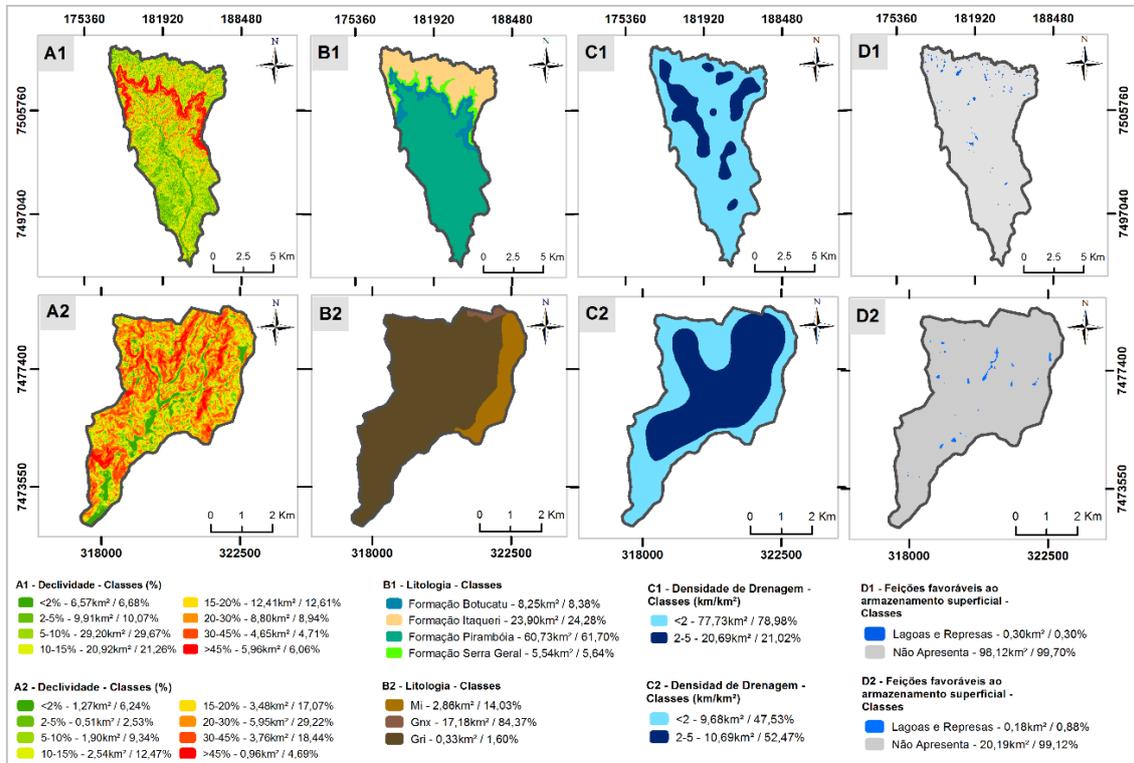
As classes de declividade foram obtidas por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) do sensor Alos Palsar, com resolução espacial de 12,5m por 12,5m, disponibilizado de forma gratuita pela plataforma Vertex Alasca. Com relação às unidades litológicas, a textura e gênese, e espessura foram adquiridas nos trabalhos de Dantas-Ferreira (2008) e Collares (1994) para as sub-bacias hidrográficas SBHRT e SBHCO, respectivamente.

Os intervalos das classes de densidade de drenagem foram obtidos, por meio do método de interpolação Krigagem Ordinária Esférica e classificada conforme os critérios de Pejon (1992). Com relação às feições favoráveis ao armazenamento superficial, foram mapeadas utilizando a plataforma do Google Earth Pro®.

A segunda álgebra de mapas envolveu a CPES juntamente com o índice de erodibilidade, textura e profundidade dos materiais inconsolidados das sub-bacias hidrográficas SBHRT e SBHCO. Além disso, foram realizadas no período de nove meses visitas *in loco* para o monitoramento do leito do rio principal próximo ao exutório das sub-bacias hidrográficas, com a finalidade de verificar a presença de sedimentos, situação esta que influencia diretamente na disponibilidade dos recursos hídricos.

A Tabela 3 apresenta a descrição das classes da litologia presentes na SBHCO.

Figura 3: Atributos utilizados para a elaboração das cartas das SBHRT (1) e SBHCO (2)



Fonte: Autores.

Tabela 3: Descrição das classes da litologia da SBHCO

Unidades	Descrições
Mi (Milonitos)	Constituem em material milonitizado da Zona de Falha Socorro e Faixa Dúctil Mostardas (CAMPOS NETO et al., 1984). Correspondem a rochas intensamente milonitizadas, cuja derivação provém de granitóides, xistos e principalmente de gnaisses. Na área ocorrem lentes de anfibolitos, dioritos e carbonatos.
GRHFC Gnx (Granitóides Indiferenciados)	Apresentam correspondência aos granitos do Complexo Morungaba e a uma fração da Suite Migmatítica Catapora (CAMPOS NETO et al., 1984). Tratam-se de vários granitos que apresentam baixo a médio teor em minerais ferro-magnesianos e lentes anfibolíticas associadas. Observa-se que este domínio corresponde um alto topográfico com declividades acentuadas. O material intemperizado é friável e com pouca mica.
Gri (Intercalações de Biotita-gnaisses e Biotita-xisto)	São gnaisses e xistos com alto teor em máficos e com pouco quartzo. Ao contrário dos Gnaisses Indiferenciados, neste domínio ocorrem solos rasos e uma espessa camada de saprolito. O solo saprolítico e o saprolito são bastante micáceos.

Fonte: COLLARES (1994).

4 RESULTADOS

A SBHRT apresenta 80,33% da sua área com muito baixo a baixo potencial ao escoamento superficial, esta classe está distribuída em toda a sua extensão, isto ocorre, devido às características do relevo, por ser plano, o que favorece e potencializa o processo de infiltração. Outro atributo, que contribui com tal condição, é a predominância de solos com textura arenosa, dessa forma, as propriedades físicas destes os caracteriza com maior presença de macroporos, situação esta que condiciona maior facilidade de penetração de água e, conseqüentemente menor fluxo superficial.

Na SBHRT observam-se níveis médios e altos de escoamentos próximos a sua cabeceira, destacando-se a Serra de Torrinha que apresenta declividade acentuada maior que 45%. Com relação à CRPEA, a SBHRT se destaca com médio a alto risco, isto ocorre em maior parte nas áreas planas (declividade <10%), sendo o fator condicionante o material inconsolidado, por tratar-se de solo retrabalhado de textura arenosa no topo do perfil de alteração.

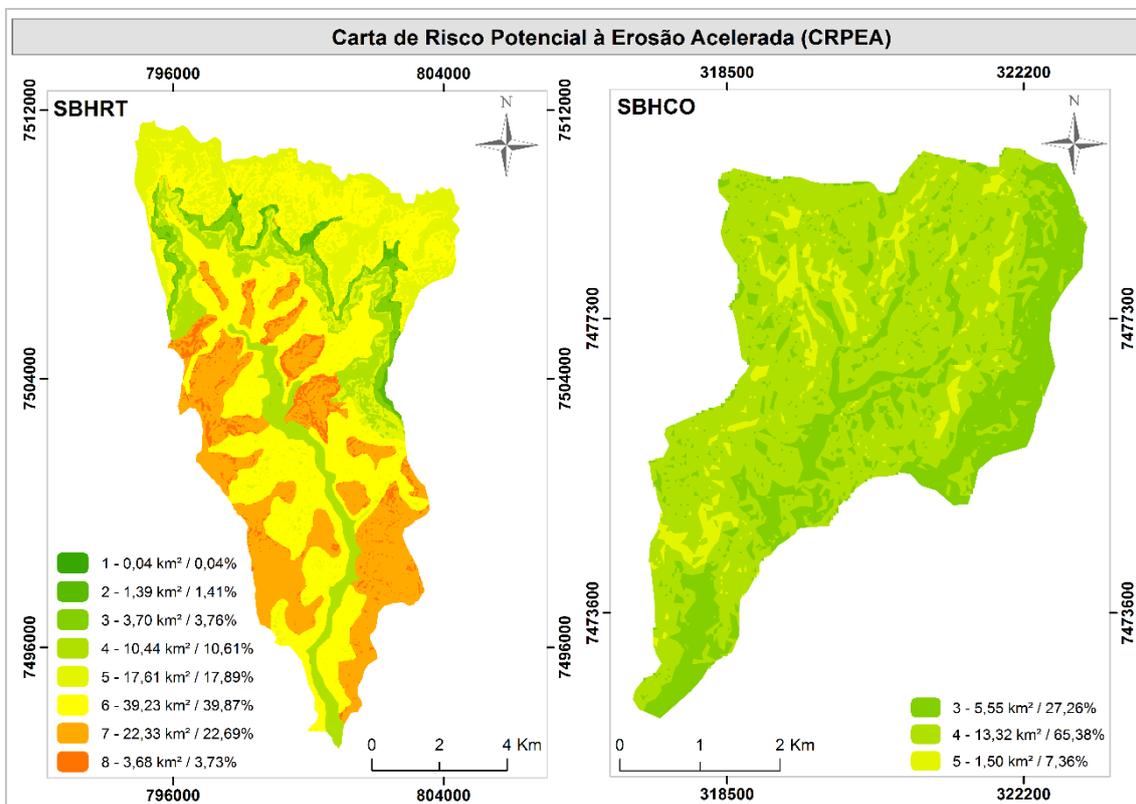
Vale ressaltar, que além dos atributos do meio físico elencados neste trabalho, a precipitação consiste em um agente exógeno que também contribui com o surgimento ou agravamento de processos erosivos. O monitoramento pluviométrico executado na SBHRT por Lorandi et al. (2019), nos meses de abril a novembro, registrou maior volume precipitado no mês de abril, correspondendo a 144,70mm. Este volume associado com a litologia, solo, inclinação do terreno, influenciou diretamente no desprendimento e transporte de partículas para o leito do canal de drenagem principal provocando assoreamento, desse modo, foi constatada *in situ* a presença de sedimentos, que se manteve durante todo o período analisado.

A região norte da SBHRT apresenta baixo a médio risco potencial há ocorrência de processos erosivos, devido à predominância nesta área de arenitos imaturos, geralmente de textura grossa, conglomeráticos, com seixos de quartzito, e presença de seixos laterizados, que compõem áreas com resistência ao intemperismo (DANTAS-FERREIRA, 2008). Outro condicionante, para o baixo risco, enquadra-se na presença de material inconsolidado de textura arenosa silto-argilosa, com espessuras inferiores a 5 metros, que ocasionalmente podem estar recobertas por materiais retrabalhados. A porção central da SBHRT apresenta baixo risco potencial devido à presença de material aluvionar (Figura 4).

Ao contrário da SBHRT, a SBHCO apresenta altos níveis de potencial ao escoamento superficial, totalizando 54,05% de sua extensão territorial, mais especificamente na sua porção centro-oeste. Um dos fatores determinantes a esta condição corresponde à inclinação do terreno nesta área, que se apresenta com declividades acentuadas que variam de 20% a acima de 45%. Os Granitóides Indiferenciados localizados nesta sub-bacia hidrográfica referem-se à unidade litológica que também contribui para a ocorrência desta classe, devido, apresentar características físicas que favorecem o maior escoamento superficial.

A Densidade de Drenagem nesta área contribui para que o potencial de escoamento seja baixo a médio pela presença de duas classes: menos de 2 canais/km; e 2 a 5 canais/km (PEJON, 1992). A porção leste da SBHCO apresenta baixo potencial ao escoamento superficial, devido apresentar material com textura argilo-arenosa, que facilita o processo de infiltração. Além disso, esta área é composta por milonitos derivados de granitóides, xistos e gnaisses.

Figura 4: Cartas de Risco Potencial à Erosão Acelerada (CRPEA)



Fonte: Autores.

Com relação à CRPEA, a SBHCO apresenta baixo risco potencial, distribuída por toda a sua área. Esta situação está condicionada pelo fato de que o material geológico apresenta muito baixo a baixo potencial de risco à erosão, sendo oriundo de terrenos cristalinos, em que os solos apresentam partículas de tamanhos menores que permite maior coesão, e em consequência um arranjo menos propício a ação do desprendimento provocado não somente pelas especificidades do material, como também, por agentes externos.

Os intervalos de classe do potencial de risco à erosão verificados nesta investigação, são similares aos apresentados por Lorandi et al. (2018), na área de abrangência da Bacia

Hidrográfica do Rio Fartura. Desse modo, a disponibilidade hídrica nesta área não sofre interferência com relação ao risco à erosão, uma vez que, verificado *in loco*, não há presença de sedimentos no leito do canal de drenagem principal, quando comparada com a SBHRT.

Constata-se que a ação da chuva nesta sub-bacia hidrográfica não se caracteriza como um fator agravante e/ou principal condicionante para o surgimento ou intensificação dos estágios de processos erosivos. A aferição da pluviosidade executada na SBHCO por Lorandi et al. (2019), indica que no mês de abril o volume precipitado (148,30mm) nesta área foi próximo da quantidade de chuva para este mesmo mês na SBHRT, porém, estes volumes de chuva atuaram diferentemente em ambas sub-bacias hidrográficas, devido a dissimilaridade das suas propriedades geomorfológicas.

5 CONCLUSÕES

O método geotécnico utilizado para a elaboração dos documentos cartográficos foi consistente, podendo ser aplicado para diferentes bacias hidrográficas. Consistiu na aplicação em terrenos sedimentares, conforme critérios de Pejon (1992), bem como, na adaptação do método para terrenos cristalinos. As duas sub-bacias hidrográficas estudadas apresentaram resultados que condizem com a realidade verificada *in situ*. Os resultados evidenciaram grandes diferenças, com relação ao potencial de escoamento superficial e o risco potencial à erosão acelerada, devido às especificidades destas áreas.

As cartas interpretativas produzidas para as duas sub-bacias hidrográficas proporcionaram melhor compreensão na relação de como o escoamento superficial e o risco potencial à erosão interferem diretamente na dinâmica ambiental afetando de forma negativa a disponibilidade hídrica, mas especificamente no nível de qualidade da água, citando-se, como exemplo a sedimentação do leito do canal principal da SBHRT, com incremento na área e no volume dos bancos de areia.

Para melhor identificação do modo como os processos erosivos atuam na perda de solo, faz-se necessário analisar os atributos do meio físico em conjunto com atividades antropogênicas, incluindo o uso e cobertura do solo e as suas práticas de manejo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelos recursos financeiros disponibilizados ao Processo nº. 2018/14145-4, os quais possibilitaram a elaboração dos resultados deste trabalho; comunicam que “o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001” e também agradecem o Prof. Doutor Marcos Musso (Facultad de Ingeniería-Udelar, Uruguay) pela gentileza em revisar o texto em espanhol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERIHUN, M. L. et al. Evaluating runoff and sediment responses to soil and water conservation practices by employing alternative modeling approaches. **Science of the Total Environment**, v. 747, p. 141118, 2020.

CAMPOS NETO, M. C.; BASEI, M. A. S.; ALVES, F. R.; FIGUEIREDO, M. C. H. **Geologia da folha de Bragança Paulista 1:50.000**. São Paulo. Secretaria de Indústria Comércio Ciências e Tecnologia - Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais. 1984.

COLLARES, E. G. **Mapeamento geotécnico da quadrícula de Bragança Paulista - SP: ênfase nos materiais inconsolidados**. 1994. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

DANTAS-FERREIRA, M. **Proposta de índice de processos erosivos acelerados a partir de levantamento e diagnóstico Geológico-Geotécnico de áreas degradadas**. 2008. 447 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DI STEFANO, C.; FERRO, V. Testing Sediment Connectivity at the Experimental SPA2 Basin, Sicily (Italy). **Land Degradation and Development**, v. 28, n. 7, p. 1992-2000, 2017.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**. v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

GHOLAMI, V.; BOOIJ, M. J.; NIKZAD TEHRANI, E.; HADIAN, M. A. Spatial soil erosion estimation using an artificial neural network (ANN) and field plot data. **Catena**, v. 163, p. 210-218, 2018.

KAFFAS, K.; HRISSANTHOU, V.; SEVASTAS, S. Modeling hydromorphological processes in a mountainous basin using a composite mathematical model and ArcSWAT. **Catena**, v. 162, p. 108-129, 2018.

LAGADEC, L. R. et al. Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 495-509, 2016.

LORANDI, R.; JUNQUEIRA, C. A. R.; NEVES, M. P.; LOLLO, J. A. Di. Escoamento superficial e erosão acelerada por ações antropogênicas em área de manancial, sudeste do Brasil. In: **16º Congresso Nacional de Geotecnia, 2018**, Ponta Delgada - Portugal. Lisboa - Portugal: Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Volume 1, pp. 1-10. 2018.

LORANDI, R.; DI LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E.; COLLARES, E. G. Análise espacial da disponibilidade hídrica nas Sub-bacias Hidrográficas do Rio Piracicaba (SP) para a proposição de instrumento de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Relatório Parcial de Pesquisa. UFSCar/FAPESP - Processo: 2018/14145-4. 2019.

LORANDI, R.; MOSCHINI, L. E.; COLLARES, E. G.; DI LOLLO, J. A.; CARVALHO, A. C. P.; CARVALHO, A. P. P. Análise espacial da disponibilidade hídrica nas Sub-bacias Hidrográficas do Rio Piracicaba (SP) para a proposição de instrumento de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Relatório Final de Pesquisa. UFSCar/FAPESP - Processo: 2018/14145-4. 2020.

NAKAZAWA, V. A. Carta geotécnica do Estado de São Paulo: escala 1:500.000. Valdir Akihito Nakazawa (coord.), Carlos Geraldo Luz de Freitas, Noris Costa Diniz. 1nd ed., São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 21p. Mapas color. 1994. (Publicação IPT 2089).

PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico de Piracicaba. 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos de Caracterização e de Apresentação dos Atributos**. 1992. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 43, p. 64-84, 2018.

ROSS, J.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, FFLCH-USP/ Laboratório de Cartografia Geotécnica, Geologia Aplicada, IPT / FAPESP. 64p. 2 mapas. 1997.

São Paulo-SICCT-PROMOCET-IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia: PROMOCET - Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo: IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa escala 1:500.000. 1981.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: Transacion. American Geophysical Union. Volume 38, pp. 913-920. 1957.

ZUQUETTE, L. V. Riscos, Desastres e Eventos Naturais Perigosos: fontes de eventos perigosos. 1nd ed., Elsevier, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Volume 2, 302p. 2018.

XU, Z.; ZHAO, G. Impact of urbanization on rainfall-runoff processes: Case study in the liangshui river basin in Beijing, China. IAHS-AISH Proceedings and Reports, Volume 373, pp. 7-12. 2016.