

**Estudio del medio físico en cuanto a la erosión acelerada como
diagnóstico para análisis de la disponibilidad hídrica en sub-cuencas
hidrográficas en el 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

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue realizar el estudio del potencial de riesgo a la erosión acelerada para diagnosticar la interferencia de éste proceso en la disponibilidad hídrica, analizando los atributos del medio físico, en dos sub-cuencas hidrográficas de 4^a orden de ramificación, ubicadas en el sudeste del estado de São Paulo, siendo ellas: Sub-cuenca hidrográfica del Ribeirão das Taparanas (SCHRT) y Sub-cuenca hidrográfica del Córrego das Onças (SCHCO). El método adoptado consistió en la preparación y transformación de los mapas de información (pendiente, densidad de drenaje, litología, suelos residuales y geoformas favorables al almacenamiento superficial) de formato vectorial para matricial, todos en la escala 1:50.000. Posteriormente, se reclasificaron de los mapas de información, así como la asignación de pesos considerando sus clases, utilizando herramientas del software Arcgis10.5®. A continuación, los datos fueron procesados por medio del comando Raster Calculator para la elaboración de una Carta de Potencial al Escurrimiento Superficial de ambas sub-cuencas hidrográficas que subsidio la elaboración de la Carta de Riesgo Potencial a Erosión Acelerada. En la SBHRO se encontraron categorías de alta capacidad de caudal superficial y categorías de riesgo potencial de erosión menor. Las dos sub-cuencas hidrográficas tienen potencial erosivos diferentes debido a sus características físicas, ya que, SCHRT se localiza en zonas de terrenos sedimentarios, dominando la matriz arenosa, que favorece la aparición de geoformas erosivos, mientras que SBHRO está situada en terrenos cristalinos, dominando al matriz arcillosa.

PALABRAS CLAVE: Gestión de Recursos Hídricos. Procesos Erosivos. Sistema de Información Geográfica.

1 INTRODUCCIÓN

Las informaciones sobre los procesos hidrológicos que abarcan estudios de eventos relacionados con la concentración y acumulación de agua pueden ser por causas naturales (lluvias) antrópicas (construcción de un presa) y su relación con las condiciones del relieve en escalas regionales o locales (natural o antrópica) el substrato geológico (tasa de infiltración) y la vegetación (ZUQUETTE, 2018).

La escorrentía superficial y de base, los flujos en cuerpos de agua, los procesos erosivos y el transporte de sedimentos componen el conjunto de diferentes procesos naturales primarios, conforman de manera continua del perfil hidromorfológico de una cuenca hidrográfica. Para investigar a escala de cuenca hidrográfica es fundamental realizar prácticas de monitoreo y análisis así como medir éstos procesos (KAFFAS; HRISSANTHOU; SEVASTAS, 2018).

El aumento de la escorrentía superficial es un problema en muchas cuencas hidrográficas del mundo (FOLEY et al., 2005). Este proceso es generado por diversos factores como el uso y cobertura del suelo, la red fluvial, las formas del terreno y relieve (XU e ZHAO, 2016). Además esto origina procesos de erosión, inundación, flujos de detritos causando grandes daños. La pérdida de suelo y la transferencia de los contaminantes de los suelos son otros impactos que se genera en el ambiente por estos procesos hidrológicos (LAGADEC et al., 2016).

Además de entender el proceso de escurrimiento superficial y las respuestas del ambiente, es necesario comprender la erosión que consiste en un proceso geomorfológico que desagrega las partículas del suelo, fragmentos de rocas, materia orgánica del suelo y son transportados para otras áreas por medio de varios procesos, siendo el escurrimiento superficial el proceso que condiciona de forma natural el inicio de los procesos erosivos (POESEN, 2018). Comprender el proceso erosivo contribuye a verificar el grado de degradación del suelo y generar condiciones sustentables para reducir la pérdida de suelo (DI STEFANO e FERRO, 2017).

Es necesario analizar la gravedad de los procesos erosivos y establecer medidas mitigadoras para una adecuada gestión del territorio es fundamental evaluar las acciones del proceso de escurrimiento superficial y de los sedimentos generados por las actividades

antrópicas y las variaciones climáticas (BERIHUN et al., 2020). Además es importante estudiar cual es el riesgo erosivo y la determinación de las áreas con alta potencialidad a que ocurran procesos erosivos, resaltando las áreas que carecen de planificación (GHOLAMI et al., 2018).

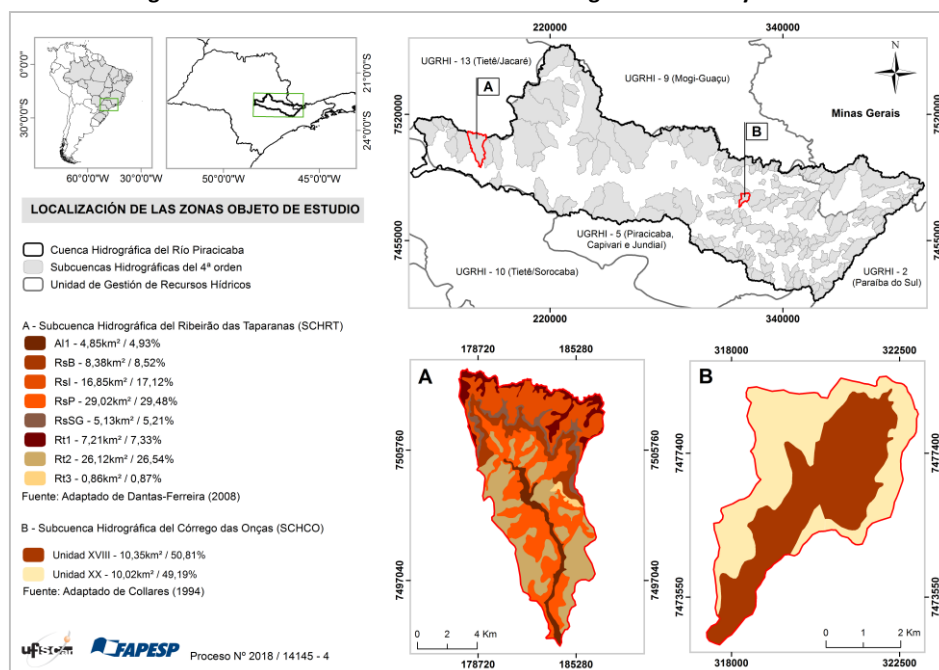
El objetivo de este trabajo es elaborar una Carta de Potencial al Escurrimiento Superficial como producto intermedio usado para la generación de la Carta de Riesgo Potencial a Erosión Acelerada para dos subcuencas hidrográficas de la cuenca Hidrográfica del Río Piracicaba, conocidas con la Subcuenca Hidrográfica del Ribeirão das Tapananas (SCHRT) e Subcuenca Hidrográfica del Córrego das Onças (SCHCO) con la finalidad de diagnosticar la interferencia de este proceso en la disponibilidad hídrica, basándose en el análisis de las propiedades del medio físico.

2 ÁREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALES ANALISADOS

Las sub-cuencas hidrográficas investigadas integran la Cuenca Hidrográfica del Río Piracicaba (CHRP), la cual junto con los ríos Capivari y Jundiá constituyen una Unidad de Gestión de Recursos Hídricos (UGRHI 5) del Estado de San Pablo (sureste de Brasil, Figura 1). Dos cursos fluviales Ribeirão das Tapananas y Córrego das Onças de 4to orden (Strahler, 1957) fueron elegidos entre ocho por estar en terrenos sedimentarios y cristalinos respectivamente. Las Tablas 1 y 2 muestran la descripción de las clases de suelos residuales en las subcuencas hidrográficas.

Figura 1: Localización de las Subcuencas Hidrográficas SCHRT y SCHCO



Fuente: AUTORES.

Tabla 1: Descripción de las clases de suelos residuales de SCHRT

Unidades	Descripciones
A11	Suelos transportados - aluviones arenosas y con cantos rodados

RsB	Suelos residuales da Fm. Botucatu - arenosos
Rsl	Suelos residuales da Fm. Itaqueri - arenosos/siluro-arcillosos
RSP	Suelos residuales da Fm. Pirambóia - arenosos
RsSG	Suelos residuales da Fm. Serra Geral - arcillo-siltosos
Rt1	Suelos transportados - arenosos de Serra, asociados a fáciles Concrecionarias
Rt2	Suelos transportados - arenosos en Topo
Rt3	Suelos transportados - arenoso-arcilloso

Fuente: DANTAS-FERREIRA (2008).

Tabla 2: Descripción de las clases de suelos residuales de SCHCO

Unidades	Descripciones
CHCO Unidad XVIII Unidad XX	<p>En los locales con declividades inferiores al 15% hay predominancia de los suelos transportados laterítico, arcilloso, y residual laterítico, con granulometría bien distribuida, presentando espesor variando alrededor de 2 metros. A continuación se muestra el suelo saprolítico arenoso, con presencia de poca mica. En la mayor parte de la unidad, en las regiones de declives pronunciados, prácticamente no hay presencia de suelo laterítico. En estas áreas se encuentran el suelo saprolítico, arenoso, con poca mica, y, principalmente, el saprolito arenoso. En las regiones más milonitizadas presentan el suelo saprolítico areno-siltoso, medianamente micáceo.</p> <p>Predomina el suelo laterítico arcilloso en las cumbres de los cerros, con un espesor superior a 3 metros. En la media ladera se encuentra el saprolito de arena siltosa, de espesor superior a 5 metros. En declividades (>20%) el suelo laterítico y el saprolítico prácticamente no hay ocurrencia. En las declividades (15-20%) predominan el suelo saprolítico arenoso, poco o medianamente micáceo, con profundidad de aproximadamente 1 metro. También hay una fina capa de suelo laterítico arcilloso.</p>

Fuente: COLLARES (1994).

2.2 Caracterización Ambiental

La región estudiada está compuesta por rocas sedimentarias fanerozoicas (Mesozoico) con derrames de lavas básicas e terrenos con rocas graníticas y gneisses del Fanerozoico (Eopaleozoico) y Proterozoico Inferior (São Paulo-SICCT-PROMOCET-IPT, 1981).

La geomorfología del área estudiada en escala 1:500.000 se divide en diferentes Unidades Morfoestructurales: Cinturón Orogénico del Atlántico (dentro de ella las unidades Planalto de Jundiá y Sierra Negra/Lindóia) y Cuenca Sedimentaria del Paraná, abarcando parcialmente la Unidad Morfoestructural Depresión Periférica Paulista (ROSS e MOROZ, 1997).

Las investigaciones realizadas en la CHRP por Nakazawa (1994), en escala 1:500.000, sobre los fenómenos erosivos puntuales (barrancas) muestra: a) en la región este (Bragança Paulista) en el centro de la cuenca hidrográfica (Limeira) dominan las áreas de alta susceptibilidad a la erosión (inducidos por movimientos de masa) y áreas de baja susceptibilidad a procesos erosivos; b) en el centro oeste del área estudiada (Piracicaba) hasta la desembocadura en el río Tietê dominan las superficies de muy alta a alta susceptibilidad a la erosión en surcos, barrancas y cárcavas.

El clima en la región es del tipo Cwa (sistema Köppen), caracterizado como mesotérmico húmedo subtropical con invierno seco, con la temperatura del mes más frío es menor a 18 °C y en el mes más cálido es superior a 22°C. Existe una diferencia considerable en el balance hídrico entre el período de sequía (mayo a setiembre) y el período lluvioso (octubre a abril).

Las características específicas del área de estudio se detallan de las 2 subcuencas a escala 1:50.000:

2.2.1 Subcuenca Hidrográfica del Ribeirão das Taparanas (SCHRT)

Se localiza en la región oeste de CHRP, con un área de 98,42km², con un relieve variado de 445 a 928m y presenta una densidad de drenaje de 1,38km/km². Esta subcuenca hidrográfica tiene pendientes bajas (<6% y 6-12%) dominado en más del 50% del área (DANTAS-FERREIRA, 2008). La pendiente de la región favorece el proceso de infiltración, permitiendo la recarga de los acuíferos. Puntualmente a SCHRT presenta pendientes altas (> 30%) en las zonas de la naciente, donde se encuentra la Sierra de Torrinhã, la cual condiciona por un aumento de la velocidad de escorrentía superficial inhibiendo la infiltración. La geomorfología del área está compuesta por formas convergentes y divergentes.

Las unidades geológicas del área son básicamente sedimentarias dominando las litologías arenosas. Las formaciones del SCHRT son desde la más antigua a la moderna: Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Itaqueri. La Fm. Pirambóia es la unidad geológica más antigua de la región (Triásico), compuesta por areniscas de diversas granulometrías de origen continental fluvial. Sobre ella se deposita la Fm. Botucatu compuesta por areniscas continentales de origen eólico principalmente y aflorando en la parte inferior de cornisas y base de la Sierra. La Fm. Serra Geral esta compuesta por basaltos cretácicos que se observan en la parte alta de la Sierra y a lo largo de las cornisas en la base del talud así como diques intrusivos en la Fm. Pirambóia. La Fm. Itaqueri es la unidad mas reciente del área y la segunda en extensión, recubre la Fm. Serra Geral.

2.2.2 Subcuenca Hidrográfica del Córrego das Onças (SCHCO)

Situada al este de la CHRP ocupa un área de 20,37km², con una densidad de drenaje de 2,35km/km². El relieve varía de 752 a 1140m, siendo las zonas altas las que poseen mayor potencial de infiltración, almacenando agua en el suelo y generando varias nacientes de cursos fluviales contribuyendo a la oferta hídrica superficial. Collares (1994) caracterizó la subcuenca como terrenos de pendientes medias y altas (12-20%, 20-30% e >30%) en un 70% del área de la misma.

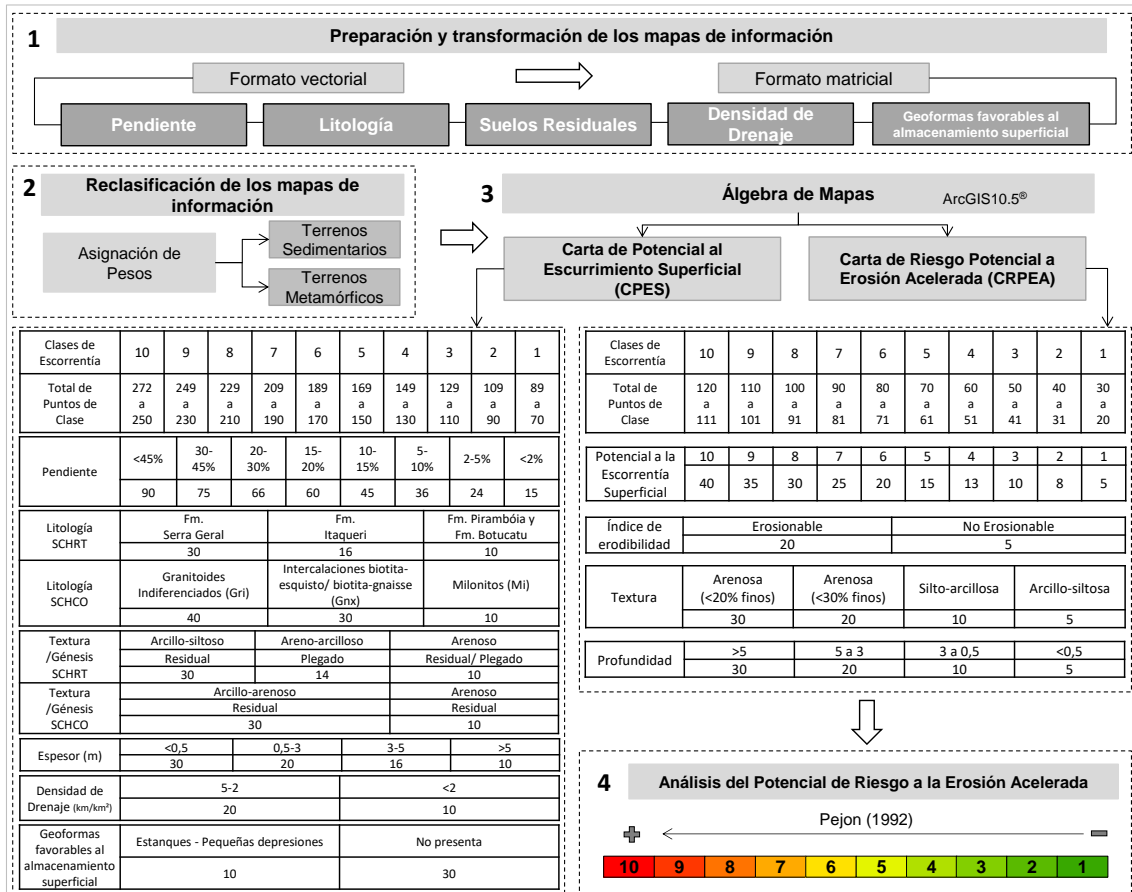
Las unidades geológicas del área (SCHCO) son granitoides indiferenciados; esquistos biotíticos y gneisses biotíticos; milonitas. Los granitoides indiferenciados pertenecen al complejo Morungaba y a una parte de la Suite Migmatítica Catapora (CAMPOS NETO et al., 1984) y tienen porcentajes bajos a medios de ferromagnesianos y lentes anfibólicos asociados. Los esquistos biotíticos y gneisses tienen alto contenido de máficos y poca cantidad de cuarzo. Los suelos desarrollados sobre estas rocas son poco profundos, existiendo un manto de alteración. Las milonitas tienen alto grado de deformación y son derivadas de granitos, esquistos y gneisses. En general los suelos desarrollados en la región son de textura arcillosa.

Localmente en la geomorfología de la SCHCO dominan las formas convergentes cóncavas, que permiten una mayor concentración y por lo tanto mayor escurrimiento superficial, y las divergentes convexas que generan mayor dispersión del escurrimiento dado que la cima es mas estrecha que la base.

3 METODOLOGÍA

En la Figura 2 se muestra las etapas metodológicas realizadas para identificar el Potencial de Riesgo a Erosión Acelerada de las áreas de estudio SCHRT y SCHCO, dentro de los estudios de un proyecto de investigación mayor financiado por la Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (LORANDI et al., 2019).

Figura 2: Etapas metodológicas desarrolladas en el estudio



Fuente: AUTORES.

La elaboración de la Carta de Riesgo Potencial a la Erosión Acelerada (CRPEA) se aplicó la metodología desarrollada por Pejon (1992) en Brasil. El método propone inicialmente elaborar una Carta de Potencial al Esgurrimiento Superficial (CPES) considerando sólo los atributos del medio físico. Obtenida ésta carta se le agregan 3 atributos índice de erodibilidad, textura y profundidad para generar la CRPEA.

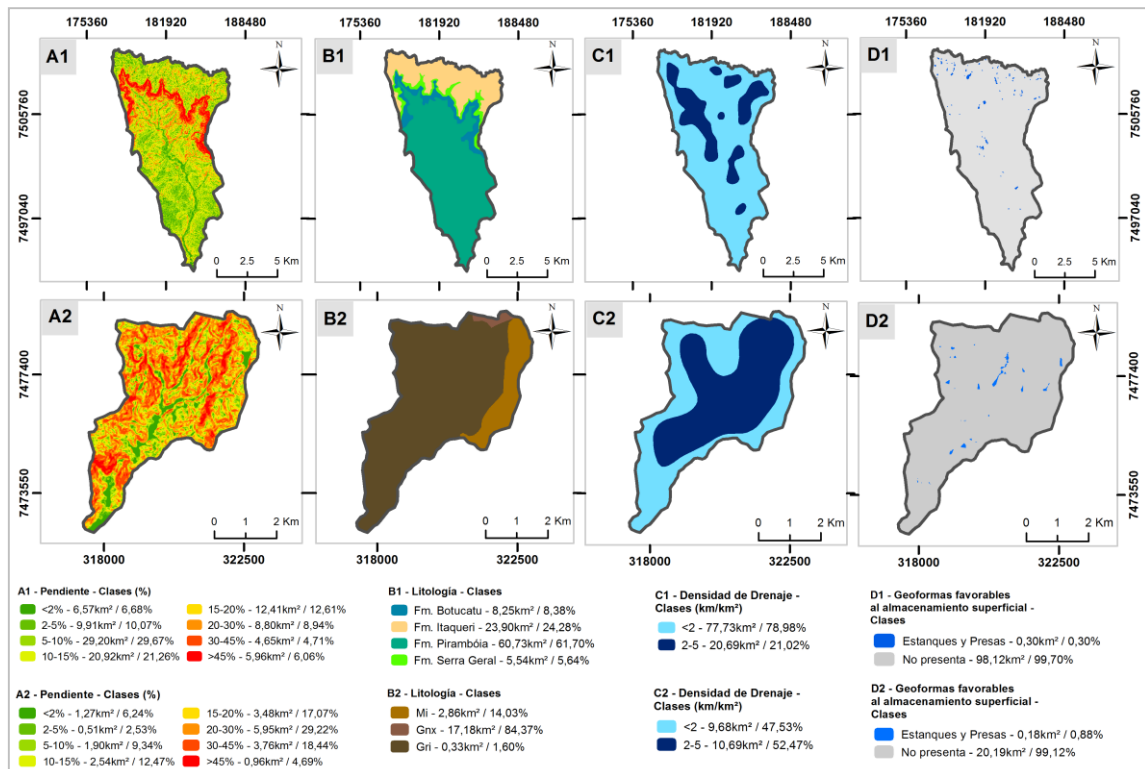
La primera etapa del trabajo es preparar y transformar los mapas de información en escala 1:50.000 (Pendientes, Litología, Suelos Residuales, Densidad de Drenaje y Geoformas Favorables al Almacenamiento Superficial) de formato vectorial a matricial. Después los mapas fueron re proyectados utilizando el sistema cartográfico de referencias SIRGAS 2000 y la proyección cartográfica *Universal Transversa de Mercator*.

Luego fueron reclasificados los mapas de información usando comando *Reclassify* del software ArcGIS10.5®, siendo esta etapa fundamental para la sobreposición de los mapas de información. Después se atribuyeron las ponderaciones para cada clase de cada atributo

necesarios para elaborar la CPES. Las ponderaciones de cada atributo fueron ajustadas para cada subcuenca dado que presentaban características físicas diferentes.

A continuación se realizaron operaciones de mapas, la primera para elaborar la CPES en las dos subcuencas, considerando seis atributos del medio físico: Pendiente, Litología, Textura/Génesis, Espesor, Densidad de Drainage, Geoformas Favorables al Almacenamiento Superficial. La sobreposición de los mapas de información (Figura 3) fue utilizado el comando *Raster Calculador* del software ArcGIS10.5® (LORANDI et al., 2020).

Figura 3: Atributos utilizados para la elaboración de las cartas de las SCHRT (1) y SCHCO (2)



Fuente: AUTORES.

Las clases de las pendientes fueron obtenidas usando el Modelo Digital del Terreno (MDT) del sensor Alos Palsar, con resolución de 12,5m x 12,5m, disponible en forma gratuita en la plataforma Vertex Alasca. La información sobre las litologías, textura y génesis, espesor fueron obtenidos de los trabajos de Dantas-Ferreira (2008) e Collares (1994) en las cuencas SCHRT y SCHCO respectivamente.

Los intervalos de las clases de densidad de drenaje se obtuvieron por el método de Interpolación de *Kriging* Ordinaria Esférica y clasificada usando los criterios de Pejon (1992). Las geoformas que favorecen la acumulación superficial fueron mapeadas utilizando la plataforma Google Earth Pro®.

La segunda operación con mapas se hizo utilizando CPES con los índices de erodabilidad, textura y profundidad de los suelos de alteración de las subcuencas hidrográficas SCHRT y SCHCO. Además fueron realizadas visitas *in situ* durante nueve meses, con el objetivo de monitorear el nivel del río principal próximo al cierre (exutorio) de las subcuencas hidrográficas

y verificar la presencia de sedimentos lo cual influye directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos.

La Tabla 3 presenta la descripción de las clases de litología presentes en SCHCO.

Tabla 3: Descripción de las clases de litología de la SCHCO

Unidades	Descripciones
Mi (Milonitas)	Consisten en material mironizado de la Zona de Falla de Socorro y Tira Dúctil Mostaza (CAMPOS NETO et al., 1984). Corresponden a rocas intensamente milonitizadas, cuya deriva proviene de granitoides, esquistos micáceos y principalmente de gneisses. En la zona se encuentran lentes de anfibolita, diorita y carbonato.
Gnx (Granitoides Indiferenciadas)	Corresponden a los granitos del Complejo Morungaba y a una fracción de la Suite Migmatítica Catapora (CAMPOS NETO et al., 1984). Son de varios granitos que presentan un contenido bajo a medio en minerales ferro-magnésicos y lentes anfibolíticos asociados. Se observa que este dominio corresponde a una topografía alta con pendientes pronunciadas. El material degradado es friable y tiene poca mica.
Gri (Esquistos biotíticos y Gneisses biotíticos)	Son gneisses y esquistos micáceos con alto contenido de máficas y poco cuarzo. A diferencia de los Gneisses Indiferenciados, en este ámbito se producen suelos poco profundos y una gruesa capa de saprolito. El suelo saprolítico y el saprolito son bastante micáceos.

Fuente: COLLARES (1994).

4 RESULTADOS

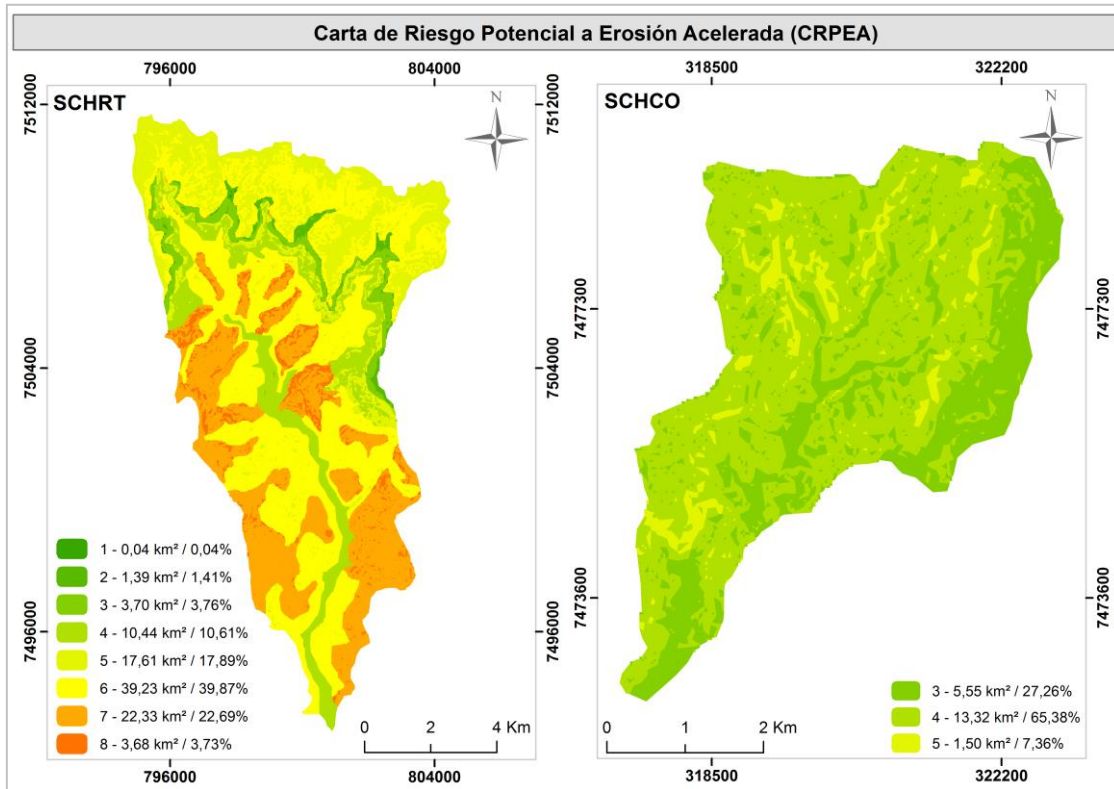
La SCHRT tiene 80,33% de su área con muy bajo a bajo potencial al escurrimiento superficial dado que el relieve plano favorece el proceso de infiltración. Además los suelos de la región son de textura arenosa con macroporos, lo cual favorece la mayor facilidad de infiltración del agua de lluvia y disminuye el flujo superficial.

La SCHRT tiene niveles medios a altos de escurrimiento superficial en la región de las nacientes, donde tienen pendiente acentuadas mayores a 45%, destacándose la Sierra de Torrinha. En la CRPEA se observan riesgo medio a alto mayoritariamente asociado a las áreas planas (pendientes <10%) donde ocurren suelos transportados de textura arenosa en la parte superior del perfil de alteración.

La precipitación es un agente exógeno que contribuye al inicio o agravamiento de los procesos erosivos, asociado a los atributos del medio físico utilizados en este trabajo. El monitoreo pluviométrico realizado en la SCHRT por Lorandi et al. (2019) entre los meses de abril y noviembre, registró el mayor volumen de precipitación del mes de abril con 144,70mm. Éste volumen en conjunto con la litología, suelo y pendiente del terreno influyeron en el desprendimiento y transporte de partículas hacia el canal principal, generando colmatación la cual constatada *in situ* la presencia de sedimentos los cuales se mantuvieron durante el período analizado.

La región norte de la SCHRT presenta bajo a medio riesgo potencial a ocurrencia de procesos erosivos, dado por el dominio de areniscas inmaduras, de textura gruesa a conglomerádica, con cantos de cuarcitas y cantos de lateritas ferricadas, que generan áreas con resistencia a la meteorización (DANTAS-FERREIRA, 2008). La presencia de suelos residuales de textura areno limo arcillosa, con espesores menores a 5m, ocasionalmente recubiertos por suelos transportados contribuyen al bajo riesgo a la erosión. El sector central de la SCHRT tiene bajo riesgo potencial debido a la presencia de material aluvionar (Figura 4).

Figura 4: Cartas de Riesgo Potencial a Erosión Acelerada (CRPEA)



Fuente: AUTORES.

A diferencia de SCHRT, la SCHCO tiene altos niveles de potencial al escurrimiento superficial en 54,05% del área, localizado principalmente en la región centro-oeste de la misma. La pendiente del terreno es el atributo determinante para este proceso, con pendientes acentuadas variando de 20% a >45%. Los granitoides indiferenciadas localizados en esta región presentan características físicas que favorecen un mayor escurrimiento superficial.

La Densidad de Drenaje del área con dos clases: menos de 2 canales/km y 2 a 5 canales/km contribuye a que el potencial de escurrimiento superficial sea bajo a medio (PEJON, 1992). La región este de la SCHCO tiene bajo potencial al escurrimiento superficial por la presencia de suelos con textura arcillo arenosa, que favorece el proceso de infiltración, generados por la alteración de milonitas derivadas de granitos, esquistos micáceos y gneisses.

En relación a CRPEA, la SCHCO tiene bajo riesgo potencial, distribuida en toda el área. Ésta condición es favorecida por el hecho que los suelos de la región tiene contenido de arcilla que aumenta la cohesión, generando resistencia a la acción de desprendimiento de las partículas del suelos a los agentes externos, por lo cual presentan muy bajo a bajo potencial de riesgo a la erosión.

Los intervalos de clase potencial de riesgo a la erisión determinados en esta investigación son similares a los obtenidos por Lorandi et al. (2018) en el área de la Cuenca Hidrográfica del Río Fartura. La disponibilidad hídrica del área no tiene interferencias relacionadas con el riesgo a la erosión, dado que se verifico *in situ* la ausencia de sedimentos en el lecho del canal fluvial principal, comparado con la SCHRT.

Se verificó que la acción de la lluvia en ésta subcuenca hidrográfica no es un factor agravante y/o el principal condicionante para que ocurran o se intensifiquen los procesos erosivos. La medida de la precipitaciones realizada en la SCHCO por Lorandi et al. (2019), muestra que en el mes de abril el volumen medido (148,30 mm) fue similar al registrado en ese mismo mes en la SCHRT. Por lo tanto las precipitaciones tuvieron actuaciones diferentes en las subcuencas dado que las características geomorfológicas son diferentes.

5 CONCLUSIONES

El método geotécnico usado para la elaboración de los documentos cartográficos fue robusto, por lo cual puede ser aplicado a otras cuencas hidrográficas. Los criterios de Pejon (1992) desarrollados para regiones sedimentarias fueron adaptados para regiones de rocas cristalinas. Las dos subcuencas hidrográficas estudiadas mostraron resultados que se verifican con las observaciones *in situ*. Las diferencias constatadas en relación al potencial de escurrimiento superficial y al riesgo potencial a la erosión acelerada responden a las diferencias en los atributos de los terrenos estudiados.

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 SCHRT, com incremento na área e no volume dos bancos de areia, no período de abril a dezembro de 2019. 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.

Las cartas interpretativas generadas para las dos subcuencas hidrográficas proporcionan una mejor comprensión sobre como la esorrentía superficial y el riesgo potencial a la erosión interfieren directamente en la dinámica ambiental, afectando de forma negativa la disponibilidad hídrica. En particular la sedimentación en el lecho del principal curso fluvial de SCHRT, aumentando el área y volumen de los bancos de arena, afecta la calidad del agua.

Para mejorar la identificación de cómo los procesos erosivos actúan en la pérdida del suelo, es necesario analizar los atributos del medio físico en conjunto con las actividades antrópicas, incluyendo el uso y cobertura del suelo así como las prácticas de manejo.

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por los recursos financieros otorgados en el Proceso nº. 2018/14145-4, los cuales hicieron posible la obtención de los resultados de este trabajo; además comunican que “el presente trabajo fue realizado con apoyo de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001” y también agradecen al Prof. Doctor Marcos Musso (Facultad de Ingeniería-Udelar, Uruguay) por la gentileza de revisar el texto en español.

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.