

Geomorfologia Aplicada à Análise Forense: Uma Avaliação Necessária *Geomorphology Applied to Forensic Analysis: a Necessary Assessment*

Juliana da Costa Mantovani ¹, Cleide Rodrigues ²

Recebido (Received): 17/01/2017

Aceito (Accepted): 03/02/2018

¹ Universidade de São Paulo, juliana.mantovani@usp.br

² Universidade de São Paulo, cleidrig@usp.br

Resumo: A Ciência Criminalística refere-se à aplicação de instrumental científico em investigações conduzidas nas instâncias civil, criminal e administrativa, visando compreender as causas, os agentes responsáveis ou o dimensionamento de danos ocasionados. Podem ser realizadas em casos diversos, envolvendo ameaça à vida humana, questões médicas, trabalhistas e, mais recentemente, questões ambientais. A aproximação entre as Ciências da Terra e a análise forense tem ganhado destaque atualmente, em especial nos campos da geologia e da pedologia. A geomorfologia foi mais recentemente incorporada nessas análises, com pesquisas e aplicações ainda pouco numerosas, mas de grande potencial de contribuição, sobretudo em relação aos casos que envolvam processos e intervenções em sistemas físicos da superfície terrestre. Identificando os principais conceitos, abordagens e instrumentais utilizados nessas análises e baseando-se principalmente em literatura internacional, o estudo caracteriza o estado-da-arte da participação das Ciências da Terra e da geomorfologia na análise forense e elabora uma avaliação dessas aplicações, em relação aos seus potenciais e limitações. Dentre outros levantamentos, foi realizada investigação bibliográfica no portal *Web of Sciences*, com base em palavras-chave previamente selecionadas. O período avaliado inicia-se na década de 1960, em que se verificou crescente número de publicações dedicadas ao diálogo entre Ciências da Terra e análises forenses, especialmente a partir da década de 2000. Dentre outras tendências, foram evidenciadas lacunas sistemáticas quanto à participação da geomorfologia nas análises forenses e em peritagem, principalmente no que se refere ao seu potencial discriminador em situações de maior complexidade, que necessariamente envolvam abordagens integradoras.

Palavras-Chaves: Perícia; Perícia Ambiental; Ciências da Terra; Geomorfologia Aplicada; Perícia Geomorfológica.

Abstract: *Forensic Science refers to the application of scientific instruments in investigations conducted in civil, criminal and administrative instances, with the purpose of understanding the causes, responsibilities or the dimensions of damages. They can be carried out in a variety of cases, involving threats to human life, medical litigations, labour, and, more recently, environmental issues. The approximation between Earth Sciences and forensic analysis has gained prominence nowadays, especially in geology and pedology. The participation of geomorphology in this debate is more recent, with few researches, but with great potential, mainly in cases involving processes and interventions on physical systems of the Earth's surface. Identifying the main concepts, approaches and instruments used in these analysis and based mainly on international literature, this study presents the state-of-the-art of the participation of Earth Sciences, and geomorphology in forensic analysis and elaborates an assessment of these applications, regarding its potentials and limitations. Among other surveys, a bibliographical research was carried out on Web of Sciences site supported by keywords previously selected. In the analysed period, initiated in the 1960s, there has been an increasing number of publications dedicated to the dialogue between Earth Sciences and forensic analysis, especially after the years 2000. Among other trends, systematic gaps in the participation of Geomorphology in forensic analysis and as experts were evidenced, especially regarding its discriminating potential in situations of greater complexity, which necessarily involve integrative approaches.*

Keywords: *Forensics; Environmental Forensics; Earth Sciences; Applied Geomorphology; Forensic Geomorphology.*

1. Introdução

A Ciência Criminalística, ou Ciência Forense, refere-se à aplicação da Ciência em investigações legais conduzidas nas instâncias civil, criminal e administrativa, com o objetivo de compreender as causas, os responsáveis e/ou as dimensões dos danos ocasionados, entre outros aspectos (RUFFELL e MCKINLEY, 2005).

Seu desenvolvimento foi pautado nas necessidades e avanços tecnológicos da Ciência, desenvolvendo conceitos e normas próprias, por vezes pouco pautados em conhecimento científico, mas principalmente com base em áreas interdisciplinares do conhecimento, dentre as quais figuram as Ciências da Terra (MORGAN e BULL, 2007).

Com base em análises preliminares da literatura básica sobre o diálogo entre as Ciências da Terra e a Ciência Criminalística, realizada no âmbito de pesquisa de Doutorado junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo, foi possível delinear a construção histórica da interação entre estas duas áreas do conhecimento. Diversos autores atribuem à Hans Gross (1893), o primeiro livro técnico da área, denominado “*Criminal Investigations*”, contendo reflexões e técnicas acerca da utilização de conhecimentos de geologia e de solos nas análises forenses. A partir de então, ainda que episódicas, as contribuições das Ciências da Terra à análise forense tornaram-se presentes, ao mesmo tempo em que instituições de ensino e a prática forense se aperfeiçoaram (RUFFELL e MCKINLEY, 2005; MORGAN e BULL, 2007).

No entanto, é apenas na segunda metade do século XX que surge o principal marco na incorporação das Ciências da Terra à análise forense, com o lançamento do livro “*Forensic geology*” de Murray e Tedrows (1975). Tal obra tornou-se referência por descrever a história e avanços na participação das Ciências da Terra na análise forense, bem como por apresentar suas possibilidades de aplicação em casos concretos, envolvendo processos criminais protagonizados pelos autores enquanto peritos (RUFFELL e MCKINLEY, 2005). A obra representou, também, a divulgação entre os pesquisadores das Ciências da Terra sobre as possibilidades de contribuição e participação em análises forenses (MORGAN e BULL, 2007). Desde então, internacionalmente, diversos artigos foram publicados descrevendo a utilização de técnicas das Ciências da Terra em perícias civis e criminais, resultando no surgimento de termos específicos como geologia forense (*forensic geology*), pedologia forense (*forensic pedology*), geomorfologia forense (*forensic geomorphology*) e geociências forenses (*forensic geosciences* ou *geoforensics*).

Visando diagnosticar o estado-da-arte da participação das Ciências da Terra e da geomorfologia, na denominada Ciência Criminalística, identificando os principais conceitos e instrumentais utilizados e o potencial de participação, ainda não consolidado, dessas áreas, foi realizada ampla investigação bibliográfica na literatura internacional da área forense por meio do portal *Web of Sciences*, da *Clarivate Analytics*.

Tal pesquisa foi desenvolvida em dois planos de busca: um primeiro de sondagem inicial, para levantamento das principais fontes de informação sobre o tema e leitura dos artigos mais relevantes; e um segundo marcado por controles conceituais, como palavras-chave e termos previamente selecionados, com base na sondagem inicial, para orientar a busca.

A realização desse segundo plano de busca resultou na obtenção de 2.826 publicações, em 121 periódicos internacionais, no intervalo entre 1960, década em que foram publicados os primeiros artigos, até 2017. Em um terceiro momento, os principais artigos, com maior número de citações segundo o portal, foram analisados, visando identificar os principais conceitos, métodos e técnicas das Ciências da Terra e, em especial, da geomorfologia utilizados nessas publicações.

Os resultados são apresentados inicialmente em relação à interface entre as Ciências da Terra e a análise forense, destacando tendências do campo e técnicas mais utilizadas nas publicações. Posteriormente é realizado um enfoque no diálogo entre a geomorfologia e as análises forenses, debruçando-se sobre referenciais teórico-metodológicos e instrumentais da disciplina utilizados nestas publicações.

Tal avaliação do contexto internacional desta produção, demonstrando as tendências contemporâneas da produção deste conhecimento e as lacunas existentes no diálogo com a geomorfologia, é considerada como necessária e decisiva nos debates científicos que deverão ser travados nacionalmente nesse âmbito.

2. Materiais e Métodos

Para diagnóstico do estado-da-arte do diálogo entre as Ciências da Terra e, especificamente, da geomorfologia, e as análises forenses, foram realizadas pesquisas em dois planos de busca. O primeiro consistiu em sondagem pela bibliografia da área, por meio da leitura de artigos científicos, publicações técnicas variadas e outras fontes de informação, visando identificar os principais termos utilizados e autores desenvolvendo pesquisas nessa área.

Com base nesta primeira apreciação do campo, foi delineada estratégia para realização do segundo plano de pesquisa, controlado por palavras-chave observadas na etapa de sondagem, e que atuaram como universo de análise das buscas. São elas: “*forensic geography*”, “*forensic geomorphology*”, “*forensic geology*”, “*soil forensic*”, “*forensic geoscience*”, “*geoforensic*”, “*forensic sediment analysis*” e “*hazard forensic*”. Estes termos foram definidos visando circunscrever as publicações dedicadas à interface entre as Ciências da Terra e a análise forense.

A pesquisa bibliográfica foi realizada no portal *Web of Sciences (WoS)*, banco de referências de publicações científicas revisadas por pares pertencente à *Clarivate Analytics*. Não foram utilizados recortes temporais, abordando-se todo o espectro de publicações disponíveis na base de dados, tendo em vista os objetivos da

investigação de compreender a temporalidade e evolução deste campo de estudo. Apesar da base de dados do portal abranger publicações desde 1864, para as palavras-chave pesquisadas foram obtidos resultados após o ano de 1960.

A pesquisa bibliográfica no Portal *WoS* desenvolveu-se em 12/01/2018, sendo utilizado todo o banco de dados como base, e foram obtidas 2.836 publicações, em 121 periódicos indexados. Os resultados foram sistematizados em planilhas de dados, de acordo com o ano de publicação, os autores responsáveis, os países e instituições de pesquisa provenientes, periódicos utilizados para publicação e áreas de concentração. Tal busca teve como objetivo identificar as principais produções científicas publicadas em periódicos internacionais relacionadas ao tema. Assim, em um terceiro momento, após a pesquisa bibliográfica, foram realizadas seleções dos textos obtidos junto ao portal *WoS*, por meio de análise de conteúdos pertinentes em resumos, realizadas leituras, análises críticas e sistematizações dos principais artigos obtidos e para cada termo norteador.

A análise dos resultados foi realizada em duas frentes: uma primeira voltada à compreensão do diálogo entre as Ciências da Terra e a análise forense, considerando em conjunto os resultados obtidos para todos os termos de pesquisa. Os resultados foram analisados em relação ao aspecto temporal, considerando a evolução do número de publicações durante o período, no total e para cada termo; e em relação aos principais periódicos utilizados para publicação das pesquisas. Estes, foram observados inicialmente em conjunto, incluindo revistas de diferentes campos do conhecimento, algumas das quais especializadas em publicações das Ciências Criminológicas; e posteriormente apenas em relação aos periódicos de abrangência nas Ciências da Terra, tendo em vista o enfoque da pesquisa. Os países com publicações na área também foram sistematizados, inicialmente em tabelas, e posteriormente em espacialização em mapa temático.

A segunda frente dedicou-se à análise dos resultados envolvendo, especificamente, a atuação da geomorfologia nas análises forenses, por meio de seu referencial teórico-metodológico e de seu instrumental. Os resultados obtidos foram analisados em relação à evolução temporal durante o período investigado, aos periódicos utilizados para publicação e em relação à concepção da geomorfologia, de suas abordagens e técnicas presente nessas produções.

3. Resultados e Discussão

3.1. A pesquisa forense e a utilização de técnicas das Ciências da Terra

A pesquisa realizada no portal *Web of Sciences*, com base nas palavras-chave, obteve 2.836 produções como resultado, publicadas em 121 periódicos indexados. Os primeiros artigos sobre o tema remontam a década de 1960, utilizando apenas os termos “*hazard forensic*” e “*soil forensic*”. A maior parte dos artigos publicados, porém, concentra-se após os anos 2000 (80%), com aumento significativo no número de publicações a partir de 2007, com mais de 175 artigos publicados por ano, e a partir de 2014, acima de 200 publicações por ano (**Figura 1**).

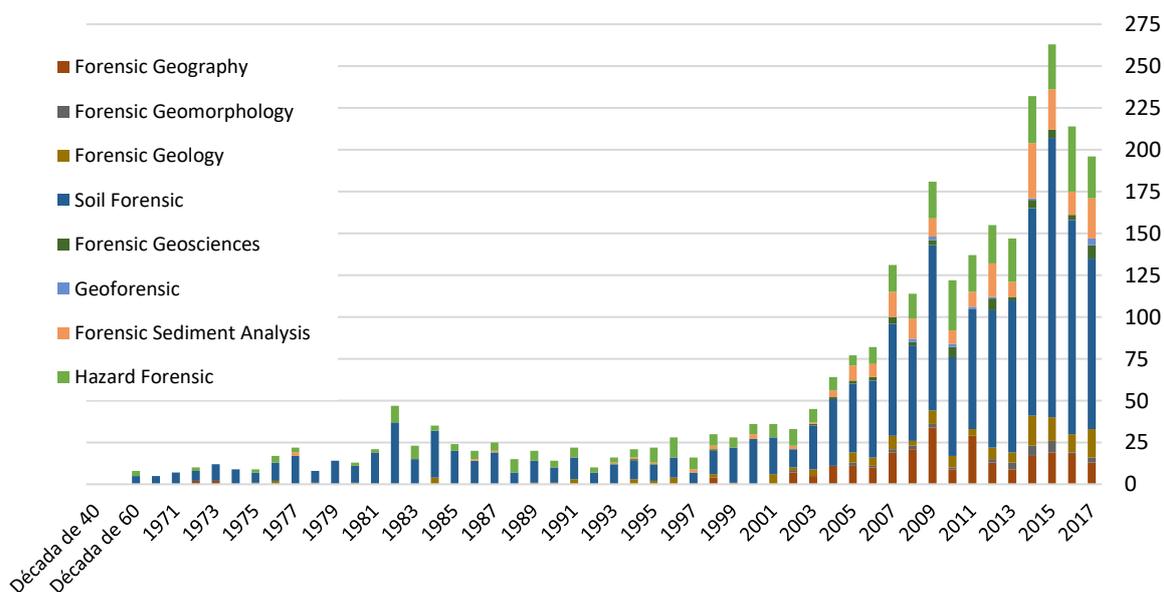


Figura 1: Total de publicações por ano e em relação a cada termo pesquisado.

Em relação às palavras-chave individualizadas, obteve-se um número superior para os termos “*soil forensic*”, com 1.656 publicações (58,4%); “*hazard forensic*”, com 458 publicações (16,1%); “*forensic geography*”, com 253 (8,9%) e “*forensic sediment analysis*”, com 217 (7,7%). Para os termos “*forensic geology*” e “*forensic geosciences*” foram obtidas 152 e 53 publicações, respectivamente, correspondendo a 5,4% e 1,9% do total de publicações obtidas na pesquisa. Os termos “*forensic geomorphology*” e “*geoforensic*” foram os que obtiveram menor número de publicações, com 34 (1,2%) e 13 (0,5%), respectivamente. Cabe ressaltar, no entanto, que se tratam de termos mais recentes, com as primeiras publicações utilizando tal terminologia a partir de 2005, no caso de “*forensic geomorphology*”, e a partir de 2008, em relação a “*geoforensic*”, em contraposição com os demais, que remontam predominantemente as décadas de 1960 e 1970. De qualquer forma, os resultados da pesquisa bibliográfica demonstraram a contemporaneidade deste campo do conhecimento, independentemente da palavra-chave introduzida.

Dentre os periódicos utilizados para publicação destas produções, observou-se o predomínio das revistas especializadas em análise forense internacionais, como: “*Forensic Science International*”, “*Journal of Forensic Sciences*”, “*Environmental Forensics*”, “*American Journal of Forensic Medicine and Pathology*” e “*Science & Justice*”.

Em contraposição, observou-se o predomínio de publicações em revistas específicas das Ciências da Terra para as palavras-chave “*forensic geomorphology*”, “*forensic geology*”, “*forensic geosciences*” e “*geoforensic*”, como: “*Journal of Hydrology*”, “*Episodes*”, “*Journal of Archaeological Science*”, “*Landslides*”, “*Earth and Science Reviews*”, “*Engineering Failure Analysis*”, “*Environmental Earth Sciences*”, “*Geoarchaeology*”, “*European Journal of Soil Science*”, “*Geomorphology*”, “*Applied Geochemistry*”, “*Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*” e “*Catena*”.

Os resultados da pesquisa bibliográfica foram sistematizados, também, em relação aos países e instituições com publicações no assunto. No contexto internacional, existem atualmente, grupos especialmente dedicados à divulgação e ao aprofundamento da participação das Ciências da Terra na análise forense, dentre os quais destacam-se: a *Initiative on Forensic Geology*, da *International Union of Geological Sciences* (IUGS – IFG), a *European Network of Forensic Science Institutes* (ENFSI) e a *Asian Forensic Sciences Network*. Criada em 2006, a IUGS – IFG é uma organização com abrangência mundial e representantes do Brasil, voltada à formação de especialistas, eventos e integração com outros organismos científicos sobre o tema. Com abrangência regional, a ENFSI teve sua fundação em 1995, e é composta por grupos de trabalho especializados, dentre os quais, grupo dedicado ao uso de evidências de solo na solução de casos judiciais. Já a AFSN, fundada em 2008, também com abrangência regional, possui grupo de trabalho dedicado à análise de evidências materiais, como solos, sedimentos e outros materiais superficiais, envolvendo técnicas das Ciências da Terra.

Ainda em escala internacional e relacionando-se mais diretamente às Ciências da Terra, destaca-se a atuação do grupo de trabalho *Forensic Investigations of Disasters* (FORIN), iniciativa com atuação mundial e apoio de instituições internacionais como a ONU, afiliada ao programa de pesquisas *Integrated Research on Disaster Risk* (IRDR). Esse grupo é voltado à compreensão das causas naturais e antropogênicas dos desastres, da vulnerabilidade das populações expostas e de formas de prevenção e mitigação (BURTON, 2010; ALCÁNTARA-AYALA e OLIVER-SMITH, 2014; ALCÁNTARA-AYALA *et al.*, 2016).

Entre os países, destaca-se a predominância de publicações do Reino Unido, Estados Unidos, Austrália, Alemanha, Canadá, Espanha, Itália, França, Suíça, China e Japão, entre outros (**Figura 2**). No Reino Unido e Austrália, o principal enfoque consiste em casos associados à ameaça à vida humana, como homicídios e sequestros. Na Inglaterra e Irlanda do Norte, por exemplo, as principais análises forenses recaem sobre evidências de solos, sedimentos, fragmentos de vidro, plástico e materiais explosivos, encontrados em tecidos, solas de calçados e pneus de veículos visando apontar responsáveis pelo crime, encontrar o local do homicídio ou o local de disposição de corpos de vítimas. (PRINGLE *et al.*, 2012; DI MAGGIO *et al.*, 2017).

De acordo com a pesquisa, foi possível verificar que a aplicação do referencial teórico-metodológico das Ciências da Terra à perícia ambiental possui maior expressão na Espanha, Itália, Austrália, Inglaterra, Irlanda do Norte e Rússia, em casos de contaminação química por disposição irregular de resíduos tóxicos, ou desastres envolvendo processos geomorfológicos tais como escorregamentos, inundações, subsidências, avalanches e furacões. Isso também se aplica a acidentes envolvendo intervenções antrópicas, como as de mineradoras, implementação e operação industrial, construção de edificações, construção de rodovias, ferrovias, hidrelétricas, dentre outras (PRINGLE *et al.*, 2012; CARBONEL *et al.*, 2015; DI MAGGIO *et al.*, 2017).

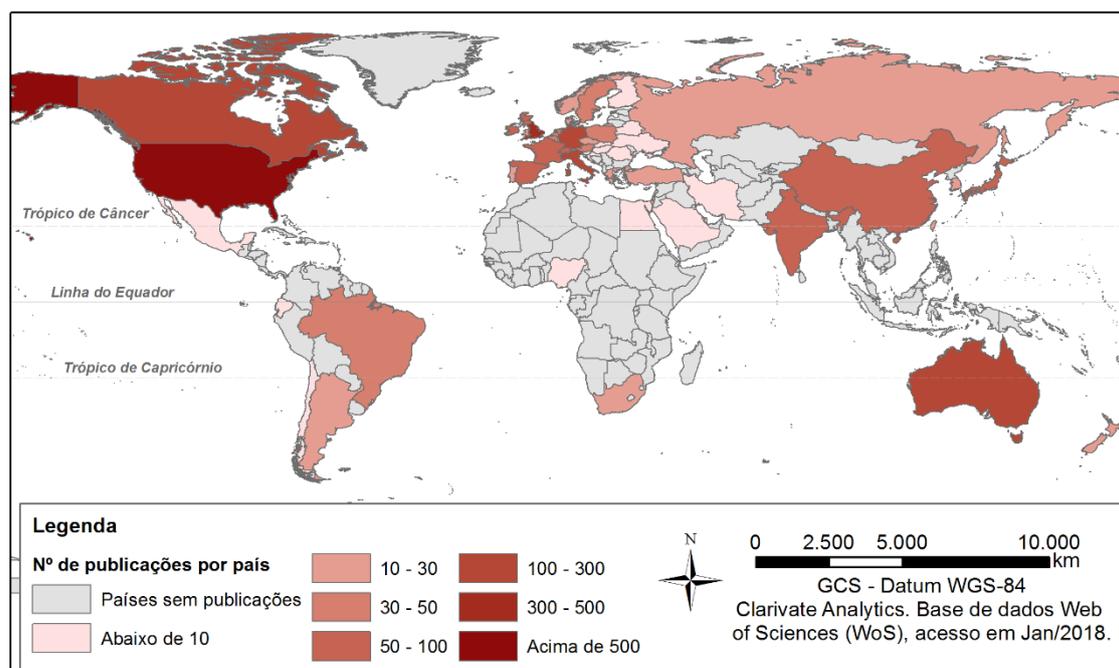


Figura 2: Distribuição de publicações por país.

Dentre os países latino-americanos com publicações na interface Ciências da Terra e análises forenses, destacaram-se com maior número de produções científicas: Brasil, Argentina, Chile, Colômbia e México. No Chile e na Argentina, predominam as aplicações do conhecimento em Ciências da Terra nos casos de pessoas desaparecidas durante os períodos de exceção de direitos civis e políticos, tal como em regimes ditatoriais. Nesses casos, o conhecimento utilizado visa a identificação das vítimas e dos locais de disposição. Na Colômbia e no México, o foco da participação desse conhecimento é dividido entre a atuação em crimes de ameaça à vida humana e em casos de ocorrência de desastres naturais (processos geomorfológicos) e os respectivos danos, como os já citados anteriormente. Nesse caso, nota-se a supremacia da participação de instituições de pesquisa e universidades nessas análises (BURTON, 2010; ALCÁNTARA-AYALA e OLIVER-SMITH, 2014; DI MAGGIO *et al.*, 2017).

No contexto nacional, foram levantadas 41 publicações brasileiras, predominantemente com idioma em inglês, envolvendo praticamente todos os termos citados, com exceção dos termos “*forensic geomorphology*”, “*forensic geology*” e “*geo forensic*”. O Brasil é o décimo sétimo país com maior número de publicações nestes campos até a data de realização da pesquisa, em 12/01/2018. Dentre as publicações levantadas, a maior parte apresenta enfoque no diálogo entre as Ciências da Terra e a análise forense em casos de crime e dano ambiental, com destaque às aplicações envolvendo contaminação dos recursos hídricos e do solo por efluentes industriais, metais pesados e fertilizantes.

Com base na leitura dos principais artigos obtidos no segundo plano de investigação, foi possível identificar as principais técnicas utilizadas pelas Ciências da Terra na análise forense, em casos envolvendo ameaça à vida humana e voltados à degradação ambiental ou à ocorrência, prevenção e mitigação de riscos geomorfológicos.

Os produtos de sensoriamento remoto e as técnicas de processamento digital de imagens e de fotointerpretação são citados em diversos artigos, sobretudo em relação às etapas de planejamento e reconhecimento do local do crime nas análises forenses. Destacam-se, neste sentido, produtos que permitem identificar mudanças na paisagem e sua cronologia, tais como as fotografias aéreas, ortofotos, imagens de satélite, produtos de mapeamento a laser (LiDAR), de radar e, em menor número, de sensores multiespectrais, hiperespectrais e termais (DAVENPORT, 2001; RUFFELL e DAWSON, 2009; PRINGLE *et al.*, 2012).

Galve *et al.* (2015) e Carbonel *et al.* (2017), por exemplo, utilizaram a técnica de Interferometria por Radar de Abertura Sintética (InSAR) para mapeamento de morfologias do relevo e obtenção de taxas de deformação da superfície, decorrentes por exemplo, de processos de subsidência em diferentes ambientes cársticos. Esta técnica se baseia na análise das diferenças de fase do sinal enviado pelo radar, registradas por duas antenas SAR localizadas em pontos diferentes do terreno. Os sinais registrados são armazenados em formato de imagens, formando um par interferométrico. Por meio do processamento é gerado um novo produto, resultante da diferença entre fases de cada imagem original, obtidas em diferentes datas. Conhecendo as variáveis geométricas de aquisição das imagens, é possível converter estas diferenças em altitude, e gerar Modelos Digitais de Superfície (ALVES *et al.*, 2009).

Dentre as vantagens em relação aos demais produtos de sensoriamento remoto, destaca-se a possibilidade de obter informações durante o dia ou a noite e em qualquer condição climática, por se tratar de um sensor ativo. No entanto, a vegetação, edificações e outras intervenções antrópicas, podem resultar na perda de coerência do produto, em conjunto com restrições em relação à resolução espacial da banda espectral utilizada (GUTIÉRREZ *et al.*, 2011; DESIR *et al.*, 2018).

A utilização de fotografias aéreas atuais e históricas, bem como de imagens de satélite, é destacada em diversos artigos. Pringle *et al.* (2012) destacam seu papel na fase de planejamento e reconhecimento da área em estudo, podendo auxiliar na identificação de locais para esconderijo de cadáveres, armas e outros objetos, por meio da detecção de mudanças na paisagem e da facilidade de acessos. Désir *et al.* (2018) utilizaram fotografias aéreas históricas para planejamento da obtenção de dados em campo, ao passo que Fabregat *et al.* (2017) utilizaram tais imagens visando compreender atividades e mudanças morfológicas recentes, sobretudo associadas as atividades antrópicas, no contexto de um estudo sobre processos de subsidência em sistema cárstico.

Todas essas técnicas são também utilizadas no campo de pesquisa das Ciências da Terra, da Geografia Física e da Geomorfologia e seus objetos (específicos ou mais abrangentes) de estudo. O que se verifica na maior parte dos casos é a busca por compreender mudanças de natureza morfológica e dos materiais superficiais nos mais diversos sistemas geomorfológicos, em também diversos graus de perturbação antrópica.

As técnicas geofísicas de superfície, não invasivas, são muito citadas nas publicações levantadas a partir da pesquisa bibliográfica, com destaque ao *Ground Penetrating Radar* (GPR) e à resistividade elétrica. O primeiro refere-se ao registro da reflexão ou difração de ondas de rádio em alta frequência (MHz), com o objetivo de inferir sobre a distribuição espacial dos materiais e objetos em subsuperfície, por meio da detecção de anomalias, uma vez que as características dos materiais (como os materiais rochosos, solos ou o conteúdo de água, dentre outros) apresenta diferentes respostas na reflexão ou difração destas ondas. Os resultados podem não ser satisfatórios em locais com materiais de alta condutividade elétrica, como ambientes salinos, limitando o resultado a baixas profundidades e com muitos ruídos. Por este motivo, esta técnica é normalmente utilizada de forma complementar, em conjunto com outras, como a resistividade elétrica. Ainda assim, dentre as principais vantagens de sua utilização, que a torna muito frequente nas análises forenses, destaca-se a alta resolução das imagens obtidas, em comparação com as demais técnicas geofísicas de superfície, assim como a velocidade de obtenção e facilidade de operação (RUFFELL e MCKINLEY, 2005; PRINGLE *et al.*, 2012; FABREGAT *et al.*, 2017).

Pringle *et al.* (2012), destaca a utilização desta técnica para identificação de cadáveres e armamentos, nos casos envolvendo análise forense de ameaça à vida humana, mas também, para situações de contaminação ambiental, disposição ilegal de resíduos tóxicos, e identificação de vítimas de desastres, como avalanches. Fabregat *et al.* (2017) e Gutiérrez *et al.* (2011) a utilizam na identificação de dolinas e quantificação de processos de subsidência, em conjunto com outras técnicas geofísicas e de sensoriamento remoto.

A resistividade elétrica, também encontrada na literatura pelo termo *Electrical Resistivity Imaging* (ERI), designando o produto obtido por esta técnica, refere-se à aplicação de uma corrente elétrica artificial no terreno, registrando a resistividade real ou aparente dos materiais, conforme sua composição mineralógica, porosidade, textura, quantidade de matéria orgânica, teor de umidade e a circulação de íons e sais dissolvidos na água (RUFFELL; MCKINLEY, 2005). Destaca-se em relação às demais técnicas geofísicas de superfície, como o GPR, por permitir a obtenção de dados a uma maior profundidade, e por apresentar menor interferência com materiais presentes na superfície (PRINGLE *et al.*, 2012; FABREGAT *et al.*, 2017).

Pringle *et al.* (2012) enumeram diversas possibilidades de aplicação em análises forenses, como por exemplo, na identificação de locais com escavação para covas ou disposição ilegal de resíduos, tendo em vista as mudanças causadas nas características dos materiais, como a porosidade do solo, gerando anomalias. Fabregat *et al.* (2017) detalha a utilização desta técnica, em conjunto com o GPR, na identificação e mapeamento de dolinas em planície fluvial na Espanha, obtendo informações a maiores profundidades sobre os materiais presentes no interior destas morfologias e os mecanismos atuantes.

As técnicas citadas acima são as principais dentre o conjunto de artigos levantados e analisados na pesquisa bibliográfica junto ao portal *Web of Sciences*, porém existem outras técnicas das Ciências da Terra utilizadas nas análises forenses voltadas à perícia ambiental ou em casos de ameaça à vida humana, cuja descrição não foi contemplada neste estudo inicial.

Cabe destacar que foi observada uma tendência geral de utilização das técnicas em conjunto, de forma complementar. Muitos artigos ressaltaram a inexistência de uma única técnica para determinados tipos de caso, e sim a necessidade de selecioná-las com base nos objetivos do estudo, características do local e disponibilidade de recursos para sua realização, incluindo custo, tempo disponível e expertise da equipe na sua aplicação,

processamento e análise dos dados. A maior parte dos artigos, no entanto, aponta para a combinação de diferentes técnicas como uma tendência e possível solução às limitações de cada uma (RUFFELL e MCKINGLEY, 2005; GUTIÉRREZ *et al.*, 2011; PRINGLE *et al.*, 2012; CARBONEL *et al.*, 2017; DÉ SIR *et al.*, 2018;).

3.2. Desenvolvimento e aplicação das bases conceituais e teórico-metodológicas da Geomorfologia nas pesquisas forenses

A pesquisa bibliográfica demonstrou o reduzido número de publicações envolvendo o diálogo entre a geomorfologia e as análises forenses, com base tanto nos resultados obtidos para o termo “*forensic geomorphology*”, com apenas 34 produções, a partir de 2002, quando o termo passou a ser utilizado; quanto na leitura dos principais artigos selecionados. Nestes observou-se compreensão limitada do objeto, dos conceitos e dos referenciais teórico-metodológicos desta disciplina.

Apesar da produção ainda restrita nesta área de atuação, a geomorfologia apresenta potencial de contribuição na análise forense por meio de sua compreensão de conceitos, metodologias e técnicas que podem ser de especial valor a este campo de atuação, tanto na esfera envolvendo casos de ameaça à vida humana, mas sobretudo, nos casos envolvendo crimes e danos ambientais.

Destaca-se, primeiramente, a centralidade do objeto de estudo e a visão integrada dessa área do conhecimento, caracterizada como uma ciência ponte entre as demais disciplinas das Ciências da Terra e das Ciências Naturais (TRICART, 1965; RODRIGUES, 1997). Dedicada à compreensão da origem, evolução e distribuição das formas de relevo, em diversos contextos escalares espaciais e temporais, a Geomorfologia se utiliza de abordagens e procedimentos próprios de descrição e explicação dos fenômenos, para reconhecer as estruturas e os processos que geram as formas que sustentam a vida humana (TRICART, 1965; JOLY, 1977; HART, 1986; RODRIGUES, 1997).

Tais procedimentos envolvem necessariamente o conhecimento da localização, das relações espaciais e da origem das formas; dos processos geomorfológicos, seus fluxos e vetores, atuais e passados; e dos materiais envolvidos e sua correlação com a evolução do relevo (JOLY, 1977; HART, 1986; RODRIGUES, 1997). Para tal, a geomorfologia irá se basear nas abordagens sistêmica, morfodinâmica e multiescalar, permitindo o conhecimento da localização e finitude desses sistemas, e de seus processos, de forma a integrá-los no tempo e no espaço.

A visão de conjunto e a abordagem multiescalar, no tempo e no espaço, são as principais características e metas da disciplina, que permitem o entendimento mais completo dos processos geomorfológicos, seu dimensionamento espacial, e a compreensão da duração e da permanência destes processos. São, também, as características que permitem estabelecer previsões e prognósticos de tendências futuras de processos geomorfológicos e mudanças ambientais, frequentemente solicitadas nas perícias ambientais.

Esse reconhecimento da localização das formas, dos processos geomorfológicos e das dimensões dos sistemas envolvidos, e sua explicação sob uma visão integrada, podem ser fundamentais na compreensão da complexidade de um caso, e na identificação de suas causas e responsáveis em uma análise forense, tanto na área ambiental, quanto nos casos envolvendo ameaças à vida humana.

A abordagem integrada e multiescalar é importante, também, para evitar a visão limitada do perito no tempo e no espaço, e a ocorrência de erros nas analogias e extrapolações, muito utilizadas nas Ciências da Terra (CHORLEY, 1962; TRICART, 1965; SCHUMM, 1991; BRUNSDEN, 1996, 2002; RODRIGUES, 1997, 2015).

Dentre as técnicas abordadas nas publicações diretamente relacionadas com a interface entre a Geomorfologia e as análises forenses, destacaram-se: a cartografia geomorfológica de detalhe, os produtos de sensoriamento remoto e o trabalho de campo.

As fotografias aéreas, imagens de satélite, radar e demais produtos de sensoriamento remoto, são técnicas utilizadas há décadas na geomorfologia, por exemplo, como ferramentas indispensáveis à produção de mapas geomorfológicos. No contexto de crimes de ameaça à vida humana, como homicídios, a utilização destes produtos está relacionada à detecção de mudanças na paisagem, nas morfologias dos sistemas superficiais envolvidos e no padrão de vegetação. Dessas ferramentas é possível criar hipóteses locais mais prováveis para a abertura de covas, ocultação de cadáveres e de provas, com base na dificuldade de acesso, facilidade de escavação (associada ao sistema superficial e tipo de solo) ou à declividade e à litologia.

Nas publicações associadas à análise forense de danos ambientais ou em casos de investigação e monitoramento de riscos geomorfológicos, os produtos de sensoriamento remoto atuam como base para desenvolvimento de cartografia geomorfológica, ou para análises históricas de identificação de mudanças morfológicas e de intervenções antrópicas na paisagem. Désir *et al.* (2018), por exemplo, desenvolveram mapas geomorfológicos visando auxiliar na identificação dos limites de dolinas, mecanismos e taxas de processo de subsidência em sistema cárstico.

A cartografia geomorfológica é um dos principais métodos e produtos da pesquisa geomorfológica, sobretudo da geomorfologia aplicada, e é praticada desde a primeira metade do século XX, com diversas referências estabelecendo seu conteúdo básico e suas formas de representação (DEMÉK, 1972; RODRIGUES, 1997; COLTRINARI, 2011). Tais referências estabeleceram que seu conteúdo básico deve abarcar a representação da geometria das formas (morfologia e morfometria), de sua origem (morfogênese), idade (morfochronologia) e da natureza do material presente nestas formações.

A importância desta técnica foi assinalada nas publicações levantadas, tanto nos artigos envolvendo a análise forense em casos de ameaças à vida humana, quanto naqueles aplicados às questões ambientais. Em relação aos primeiros, o mapeamento geomorfológico é destacado como uma ferramenta para auxiliar no planejamento da perícia e na indicação de áreas preferenciais de investigação e busca (RUFFELL e MCKINLEY, 2005; PRINGLE *et al.*, 2012). Observou-se, nestes artigos, uma redução dos conteúdos da cartografia geomorfológica aos aspectos morfológicos e, até mesmo, como sinônimo da topografia do local. Cabe destacar que tal redução não se limitou à cartografia geomorfológica, mas esteve presente, também, na compreensão das atribuições do geomorfólogo na análise forense, demonstrando um conhecimento parcial ou uma concepção equivocada da geomorfologia.

Já nas publicações envolvendo análises forenses voltadas aos casos de dano ambiental e prevenção e mitigação de riscos geomorfológicos, a utilização da cartografia geomorfológica de detalhe teve como objetivo embasar a seleção de áreas de amostragem e das técnicas a serem utilizadas em campo (DESIR *et al.*, 2018), e auxiliar na obtenção de taxas e compreensão da evolução de processos geomorfológicos (CARBONEL *et al.*, 2015; FABREGAT *et al.*, 2017), ainda que nestas publicações, seu conteúdo tenha apenas parcialmente abarcado, abrangendo a representação das morfologias e dos materiais.

Por fim, o trabalho de campo e as técnicas aplicadas em campo, aparecem como fundamentais em diversos artigos e com diferentes objetivos. Para a análise forense voltada à crimes contra a vida humana, Pringle *et al.* (2012) destacam a importância de um campo prévio, de reconhecimento da área, para identificação de obstáculos, seleção de áreas preferenciais de busca e planejamento das técnicas que serão utilizadas para tal. Em campo, também, é possível o reconhecimento de morfologias indicadoras de áreas com perturbação fora do esperado, como locais de disposição de cadáveres, de resíduos tóxicos ou de esconderijo de outros objetos (PRINGLE *et al.*, 2012). Além do papel da observação, a utilização de técnicas de topografia, detectores de metais e a abertura de trincheiras, são igualmente citadas.

A observação de perfis de solo e abertura de trincheiras é outro procedimento clássico da geomorfologia, utilizada para reconhecimento da morfologia dos solos, de sedimentos e da presença de discontinuidades, visando coletar material e compreender sua evolução (KONDOLF e PIÉGAY, 2003; GOUDIE, 2004; SANTOS *et al.*, 2005). Nas publicações envolvendo crimes à vida humana, a abertura de trincheiras foi citada no âmbito das técnicas aplicadas após a participação do geomorfólogo, restrito à etapa de reconhecimento do local do crime e planejamento da perícia, reforçando a percepção da compreensão limitada acerca do objeto de estudo da geomorfologia.

Nas publicações envolvendo análises forenses para casos de danos ambientais e associados aos riscos geomorfológicos, observou-se a utilização dessa técnica em complementação ao mapeamento geomorfológico e aos métodos geofísicos de superfície. Fabregat *et al.* (2017), por exemplo, utilizaram esta técnica para compreender os mecanismos atuantes, a dinâmica e a evolução do processo geomorfológico em área afetada por processos de subsidência.

Apesar destas técnicas não serem exclusivas da geomorfologia, com exceção da cartografia geomorfológica, são utilizadas tradicionalmente por esta disciplina. Sua apropriação pela geomorfologia, no entanto, prevê sua aplicação, análise dos dados e interpretação dos resultados sob uma perspectiva integrada, buscando sua explicação com base no conhecimento da localização, do funcionamento (processos e mecanismos atuantes), das particularidades e da diferenciação dos fenômenos em estudo.

Esta perspectiva contrapõe-se com as publicações levantadas a partir da pesquisa bibliográfica realizada neste estudo, com algumas exceções, que demonstraram uma concepção da geomorfologia limitada à descrição das morfologias e caracterização dos atributos topográficos da paisagem.

4. Conclusões

A pesquisa bibliográfica e os exemplos citados demonstraram que, apesar do crescente aumento da participação das Ciências da Terra na análise forense, existem diversas lacunas na participação da geomorfologia neste debate de aplicação de seus referenciais teórico-metodológicos em análises forenses e na participação como peritos.

Foi verificada a predominância de duas grandes frentes de atuação das pesquisas realizadas nesta área, uma dedicada à aplicação das técnicas da geomorfologia nas perícias envolvendo ameaças à vida humana, como casos de homicídio e sequestro; e outra, dedicada à aplicação do referencial teórico-metodológico desta disciplina na perícia ambiental, para avaliação de impactos e danos ao sistema ambiental e à população, e no dimensionamento, prevenção e mitigação de riscos geomorfológicos e de desastres naturais.

Foi possível observar o predomínio de publicações mais recentes dedicadas à aplicação de técnicas específicas na análise forense, em contraposição às produções passadas, pautadas por discussões conceituais mais amplas, em relação à Ciência Criminalística, seus objetos de estudo e a interface com as Ciências Ambientais. Ainda que a incorporação de tais técnicas apresente grande potencialidade de aplicação na análise forense, o enfoque excessivo na técnica pode ter efeitos negativos na realização das perícias, sobretudo na área ambiental e em casos envolvendo processos do meio físico, cuja investigação exige abordagens mais amplas, como a perspectiva sistêmica, interdisciplinar e baseada em múltiplas escalas de análise, que estão no cerne do objeto de estudo e da atuação da geomorfologia.

Verificou-se, também, uma compreensão reduzida do objeto de estudo e dos referenciais teórico-metodológicos da geomorfologia, limitados à descrição das morfologias e das características topográficas dos locais sob investigação, atuando como apoio na seleção de locais preferenciais de investigação e subsidiando buscas. Tal redução pode ser atribuída a um desconhecimento parcial dos conceitos e instrumental da geomorfologia, cuja responsabilidade pode residir, em parte, na própria ausência da disciplina neste debate.

A contemporaneidade do tema revalida a necessidade inserir a geomorfologia neste campo de atuação, sobretudo em relação à perícia ambiental. Esta inserção é conveniente, também, pois trata-se de preencher essa insuficiência teórica, metodológica e técnica de suas aplicações nas Ciências Forenses, de maneira a consolidar, em princípio, o instrumental conceitual que viabilizaria diagnósticos periciais mais completos e precisos, assumindo, por exemplo, a perspectiva sistêmica e morfodinâmica da paisagem, escalas espaço-temporais adequadas, limites precisos dos sistemas físicos, abordagem interdisciplinar e a complexidade dos processos geomorfológicos e dos efeitos associados às interferências antrópicas.

Dentre as vantagens da inserção do referencial teórico-metodológico da geomorfologia na análise forense ambiental, destacam-se: a avaliação e dimensionamento mais preciso dos danos ambientais, das causas e responsabilização dos agentes; maior rigor metodológico e confiabilidade dos laudos periciais; respostas mais precisas ao juiz; medidas mais efetivas de prevenção, recuperação e reparação propostas; e valorações ambientais com maior rigor metodológico e ganho à sociedade e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALCÁNTARA-AYALA, I.; OLIVER-SMITH, A.; BURTON, I.; LAVELL, A. M. **Forensic Investigations of Disasters (FORIN): a conceptual framework and guide to research**. IRDR FORIN ed. Beijing: Integrated Research on Disaster Risk, 2016.
- ALCÁNTARA-AYALA, I.; OLIVER-SMITH, A. ICL Latin-American Network: on the road to landslide reduction capacity building. **Landslides**, v. 11, n. 2, p. 315–318, 19 abr. 2014.
- ALVES, L. N.; GALO, M.; GALO, M. L. B. T. **Fundamentos do processamento interferométrico de dados de radar de abertura sintética**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Natal, Brasil: INPE**, 2009
- BRUNSDEN, D. Geomorphological events and landform change. **Zeits. Fur Geom.**, v. 40, p. 273–288, 1996.
- BRUNSDEN, D. Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into an old game. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 35, p. 101–142, 2002.
- BURTON, I. Forensic Disaster Investigations in Depth: A New Case Study Model. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 52, n. 5, p. 36–41, 31 ago. 2010.
- CARBONEL, D.; RODRÍGUEZ-TRIBALDOS, V.; GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J. P.; GUERRERO, J.; ZARROCA, M.; ROQUÉ, C.; LINARES, R.; MCCALPIN, J. P.; ACOSTA, E. Investigating a damaging buried

- sinkhole cluster in an urban area (Zaragoza city, NE Spain) integrating multiple techniques: Geomorphological surveys, DInSAR, DEMs, GPR, ERT, and trenching. **Geomorphology**, v. 229, p. 3–16, jan. 2015.
- CHORLEY, R. J. *Geomorphology and General System Theory*. U.S. **Geological Survey Prof. Paper**, n. 500b, p. 10p., 1962.
- COLTRINARI, L. Cartografia geomorfológica detalhada: a representação gráfica do relevo entre 1950 - 1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 121–130, 2011.
- DAVENPORT, G. C. Remote Sensing Applications in Forensic Investigations. **Historical archaeology**, v. 35, p. 87–100, 2001.
- DEMÉK, J. **Manual of detailed geomorphological mapping**. Prague: Czescholovak Academio Sciences, IGU, 1972.
- DESIR, G.; GUTIÉRREZ, F.; MERINO, J.; CARBONEL, D.; BENITO-CALVO, A.; GUERRERO, J.; FABREGAT, I. Rapid subsidence in damaging sinkholes: Measurement by high-precision leveling and the role of salt dissolution. **Geomorphology**, v. 303, p. 393–409, fev. 2018.
- DI MAGGIO, R.; DONNELLY, L. AL NUAIMI, K. S.; BARONE, P.; SALVADOR, F.; DAWSON, L.; DIXON, R.; FITZPATRICK, R.; GRADUSOVA, O.; NESTERINA, E.; PELENEVA, M.; USHACOVA, O.; GALLEGO, C.; PIRRIE, D.; RUFFELL, A.; MCKINLEY, J.; SAGRIPANTI, G.; VILLALBA, D.; SCHNECK, B.; SUGITA, R.; WACH, G.; SILVA, R.; FORBES, S. Global developments in forensic geology. **Episodes**, v. 40, n. 2, p. 120–131, 2017.
- FABREGAT, I.; GUTIÉRREZ, F.; ROQUÉ, C.; COMAS, X.; ZARROCA, M.; CARBONEL, D.; GUERRERO, J.; LINARES, R. Reconstructing the internal structure and long-term evolution of hazardous sinkholes combining trenching, electrical resistivity imaging (ERI) and ground penetrating radar (GPR). **Geomorphology**, v. 285, p. 287–304, mai. 2017.
- GALVE, J. P.; CASTAÑEDA, C.; GUTIÉRREZ, F. Railway deformation detected by DInSAR over active sinkholes in the Ebro Valley evaporite karst, Spain. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 15, n. 11, p. 2439–2448, 2 nov. 2015.
- GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. London: Routledge, 2004.
- GUTIÉRREZ, F.; GALVE, J. P.; LUCHA, P.; CASTAÑEDA, C.; BONACHEA, J.; GUERRERO, J. Integrating geomorphological mapping, trenching, InSAR and GPR for the identification and characterization of sinkholes: A review and application in the mantled evaporite karst of the Ebro Valley (NE Spain). **Geomorphology**, v. 134, n. 1–2, p. 144–156, nov. 2011.
- HART, M. G. **Geomorphology: Pure and Applied**. London: George Allen & Unwin, 1986. JOLY, F. Point de vue sur la géomorphologie. **Annales de Géographie**, v. 86, n. 477, p. 522–541, 1977. KONDOLF, G. M.; PIÉGAY, H. **Tools in Fluvial Geomorphology**. 1ª ed. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2003.
- MORGAN, R. M.; BULL, P. A. The philosophy, nature and practice of forensic sediment analysis. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 1, p. 43–58, 18 fev. 2007.
- PRINGLE, J. K.; RUFFELL, A.; JERVIS, J.R.; DONNELLY, L.; MCKINLEY, J.; HANSEN, J.; MORGAN, R.; PIRRIE, D.; HARRISON, M. The use of geoscience methods for terrestrial forensic searches. **Earth-Science Reviews**, v. 114, n. 1–2, p. 108–123, ago. 2012.
- RODRIGUES, C. **Geomorfologia Aplicada - Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros**. 1997. 286 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- RODRIGUES, C. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. **Geosp - Espaço e Tempo**, v. 19, n. 2, p. 325–348, 2015.
- RUFFELL, A.; DAWSON, L. Forensic Geology in Environmental Crime: Illegal Waste Movement & Burial in Northern Ireland. **Environmental Forensics**, v. 10, n. 3, p. 208–213, 10 set. 2009.
- RUFFELL, A.; MCKINLEY, J. Forensic geoscience: applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. **Earth-Science Reviews**, v. 69, n. 3–4, p. 235–247, mar. 2005.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.

SCHUMM, S. A. **To Interpret the Earth: 10 ways to be wrong**. London: Cambridge University Press, 1991.

TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Géomorphologie**. Paris: Masson et Cie. Éditeurs, 1965.

WEB OF SCIENCES. Banco de dados de informação bibliográfica da Clarivate Analytics. Disponível em: <<https://webofknowledge.com/>>. Acesso em: jan. 2018.