

Marcadores forenses para revelação de digital com sangue: uma breve revisão

Forensic markers for revealing bloody fingerprints: a brief review

Marcadores forenses para revelar huellas dactilares ensangrentadas: una breve revisión

Recebido: 25/07/2022 | Revisado: 02/08/2022 | Aceito: 04/08/2022 | Publicado: 15/08/2022

Raiane Sodré de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9065-2210>
Centro Universitário Estácio de Sergipe, Brasil
E-mail: raianefisica@gmail.com

Gilvago Ant nio Barbosa de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1629-7438>
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
E-mail: gilvagosouza@unifesspa.edu.br

Debora Albuquerque Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9319-3697>
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
E-mail: deboravieira@unifesspa.edu.br

Cindy Stella Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0584-8495>
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
E-mail: cindy.fernandes@gmail.com

Fernanda Carla Lima Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1671-533X>
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
E-mail: fernacarlaluan@gmail.com

Resumo

O desenvolvimento de materiais luminescentes tem sido de extrema relevância no campo de estudo das ciências forenses, devido as contribui es significativas na melhoria da revela o de impressão digital latente, qualidade das imagens e na detec o de inúmeros vestígios em cenas de crimes. Neste sentido, o presente artigo visa realizar uma revisão acerca dos métodos utilizados e os materiais com propriedades luminescentes promissores para aplica o em marcadores forenses para revela o de impressão digital com sangue em diferentes superfícies. Além disso, analisaremos o desenvolvimento de novas tecnologias e a otimiza o dos métodos existentes com o objetivo de encontrar melhores solu es às questões que os peritos criminais enfrentam durante a investiga o forense, tais como o aprimoramento de fatores como toxicidade, sensibilidade, superfície, eficiência dos materiais e dos métodos de revela o, com o uso de abordagens baseadas em materiais fluorescentes como nanop rculas dopadas com terras raras, 1,8-diazafluoren-9-ona, corantes ácidos e ninidrina. Portanto, verificou-se que mais pesquisas são necessárias para entender melhor o mecanismo de rea o envolvido desses materiais, bem como desenvolvimento de novos materiais eficientes, com baixa toxicidade e mais sensíveis para o processamento de impressão digital latentes em diferentes superfícies.

Palavras-chave: Materiais luminescentes; Ciências forenses; Impressão digital com sangue.

Abstract

The development of luminescent materials has been extremely relevant in the field of forensic science, due to the significant contributions to improving latent fingerprint development, image quality, and the detection of numerous traces at crime scenes. In this sense, this article aims to review the methods used and the materials with promising luminescent properties for application in forensic markers to reveal fingerprints with blood on different surfaces. In addition, we will analyze the development of new technologies and the optimization of existing methods to find better solutions to the issues that criminal experts face during a forensic investigation, such as improving factors such as toxicity, sensitivity, surface, and material efficiency. and the development methods, using approaches based on fluorescent materials such as nanoparticles doped with rare earth, 1,8-diazafluoren-9-one, acid dyes, and ninhydrin. Therefore, it was found that more research is needed to better understand the reaction mechanism involved in these materials, as well as the development of new efficient materials, with low toxicity and more sensitivity for processing latent fingerprints on different surfaces.

Keywords: Luminescent materials; Forensic sciences; Fingerprint with blood.

Resumen

El desarrollo de materiales luminiscentes ha sido de gran relevancia en el campo de la ciencia forense, debido a las importantes contribuciones a la mejora del desarrollo de huellas dactilares latentes, la calidad de imagen y la detección de numerosos rastros en la escena del crimen. En este sentido, este artículo tiene como objetivo revisar los métodos utilizados y los materiales con propiedades luminiscentes prometedoras para su aplicación en marcadores forenses para revelar huellas dactilares con sangre en diferentes superficies. Además, analizaremos el desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de los métodos existentes para encontrar mejores soluciones a los problemas que enfrentan los expertos criminales durante una investigación forense, como mejorar factores como la toxicidad, la sensibilidad, la superficie y la eficiencia del material. y los métodos de desarrollo, utilizando enfoques basados en materiales fluorescentes como nanopartículas dopadas con tierras raras, 1,8-diazafluoren-9-ona, colorantes ácidos y ninhidrina. Por lo tanto, se encontró que se necesita más investigación para comprender mejor el mecanismo de reacción involucrado en estos materiales, así como el desarrollo de nuevos materiales eficientes, con baja toxicidad y más sensibilidad para el procesamiento de huellas dactilares latentes en diferentes superficies.

Palabras clave: Materiales luminiscentes; Ciencias forenses; Huella digital con sangre.

1. Introdução

Uma das características fundamentais no âmbito de uma investigação forense é que estas estão baseadas na identificação, detecção e análises de evidências obtidas ou não em cenas de crime. Entretanto, se faz necessário o uso de técnicas específicas e o desenvolvimento de materiais que facilitem o trabalho dos peritos, como por exemplo no caso da revelação de impressão digital, em que podem ser utilizados pós, sprays, soluções e dispositivos para revelar manchas de sangues e outras secreções latentes (Bécue *et al.*, 2009; Firmino *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2016; Naik *et al.*, 2021; Sobral *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017). As impressões digitais são um dos tipos mais úteis e importantes de evidência física, uma vez que cada indivíduo apresenta um padrão único na pele do dedo (Balsan *et al.*, 2019). Neste contexto, a revelação de impressões digitais latente com sangue ainda apresenta algumas inconsistências, sendo estas geralmente deixadas na cena do crime, todavia, pode carregar provas valiosas para a solução de um crime.

As impressões digitais de sangue sem contaminação depositadas na superfície dos objetos são visíveis a olho nu, devido o contraste de cores entre o sangue vermelho e o fundo do substrato, porém quando o sangue se dispersa ou se mistura com outras substâncias é necessário um maior refinamento dos detalhes (Barni *et al.*, 2007). Entretanto, com os avanços no planejamento e síntese de novos materiais luminescentes acompanhado de instrumentação apropriada e avançada, torna-se possível obter uma melhor compreensão e legitimidade durante uma perícia científica (Bécue, *et al.*, 2020; Prasad *et al.*, 2020; Rawtani *et al.*, 2019). Na maioria das vezes, essas marcas não são visíveis, são compostos por uma pequena quantidade de suor ou outras secreções, invisível a olho nu. Pode-se classificar as impressões digitais em duas categorias gerais: impressões visíveis e invisíveis. As impressões digitais visíveis, ocorrem quando os dedos estão contaminados com algum tipo de material como tinta, sangue, graxa e entre outros, estas ainda podem ser subclassificadas como negativas, positivas ou moldadas. As negativas são impressões que removem material da superfície, enquanto as positivas se formam quando as cristas papilares da pele que originam a impressão estão contaminadas por uma substância colorida ou opaca como por exemplo sangue, a qual é deixada na superfície. Já as impressões moldadas são formadas pelo contato da pele com uma substância maleável (cera, tinta cremes, entre outras). Por outro lado, as marcas de digitais invisíveis são denominadas de “latentes” e se faz necessário a aplicação de processos físicos e químicos que permitem sua visualização (Ferreira *et al.*, 2021).

A revelação de impressões digitais é uma tarefa complexa, uma vez que estas dependem também de fatores intrínsecos e extrínsecos (Becue *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2015, 2017; Yamashita & French, 2011). Os fatores intrínsecos são principalmente as secreções naturais como suor, além outras variáveis como idade, sexo, raça, saúde, alimentação, entre outras, que influenciam na composição. Os extrínsecos são substâncias com que o indivíduo teve contato durante o dia, como poeira, sangue, gordura, alimentos, entre outros. Além disso, os fatores ambientais como clima também podem influenciar, uma vez que pode ocorrer degradação, ação de microrganismos e oxidação, afetando a composição. Outros fatores também podem

influenciar na identificação das digitais no que diz respeito a escolha de técnicas apropriadas, bem como o nível de recursos utilizados em qualquer situação (Yamashita & French, 2011), tais como:

- Tipo de resíduo de impressão latente do suspeito.
- Tipo e textura do substrato.
- Condição do substrato (limpo, sujo, gorduroso etc.).
- Condições ambientais durante e após o estado latente.
- Período desde que a evidência foi tocada.
- Consequências dos métodos de processamento destrutivos.
- Exames forenses subsequentes.
- Uso sequencial dos reagentes.

1.1 Métodos usuais de identificação de sangue em diferentes superfícies

Durante uma investigação, é de extrema importância a determinação do tipo de superfície em que uma impressão digital foi coletada, tendo em vista que cada substrato possui suas próprias características, assim, a técnica que deve ser utilizada para analisar a impressão digital poderá variar de acordo com as evidências do crime (Becue *et al.*, 2009; Prasad *et al.*, 2020). Por esse motivo, uma enorme busca por novas técnicas pelo fato de uma única técnica não funcionar para os mais variados tipos de superfícies existentes. As superfícies podem ser classificadas como porosas ou não porosas. Em superfícies porosas, quando uma impressão digital é depositada, seus compostos migram para baixo dela, porque essas superfícies são principalmente absorventes. Para esse tipo de superfície, recomenda-se o uso de reagentes que interagem com aminoácidos, pois ao serem absorvidos permanecem estacionários. Superfícies não porosas, lisas ou ásperas, são frequentemente encontradas nas cenas de crime. Como não têm poros, a impressão digital se torna um depósito na superfície e, portanto, são frágeis e facilmente destruídos. Os reagentes e os métodos tradicionalmente empregados incluem a aplicação de pós, que podem ser luminescentes ou magnéticos, além de outros métodos baseados na utilização de ninidrina, vapores de iodo, nitrato de prata, cianoacrilato de etila, dentre outras substâncias químicas (Cadd *et al.*, 2016; Datta *et al.*, 2001; Ferreira *et al.*, 2021).

Atualmente, existem uma gama de métodos amplamente utilizados na rotina forense devido a sua relativa simplicidade, custo, eficiência e facilidade de operação. Todavia, apesar da diversidade de reveladores convencionais e de uso comercial, ainda existem situações em que se torna difícil revelar impressões digitais latentes presentes em vestígios forenses. Nesse contexto, inúmeros pesquisadores se dedicam ao desenvolvimento de novas tecnologias e na otimização dos métodos existentes objetivando melhores soluções às questões que os peritos criminais se deparam durante a investigação forense (Darshan *et al.*, 2016; Prasad *et al.*, 2020; Rawtani *et al.*, 2019). Na Tabela 1 está esquematizado os principais produtos comerciais empregados na revelação de impressão digital, bem como as superfícies e as suas principais vantagens e desvantagens.

Tabela 1: Métodos usuais para identificação de impressões digitais em diferentes superfícies.

Método	Superfície	Vantagem	Desvantagem
Técnica do pó	Não porosa (vidro, plástico, cerâmica e materiais sintéticos)	Revelação instantânea; simples e baixo custo. disponível em diversas cores, favorecendo o contraste na revelação.	Baixa eficiência em impressões digitais antigas; toxicidade; efeito destrutivo dos detalhes; conhecimento técnico do perito na escolha do tipo de pó.
Vapor de Iodo	Porosas (papel e madeira) e não porosas	Não ocorre reação química; permite o emprego subsequente de outras técnicas	Revelação em curto tempo, requer rápido registro fotográfico e toxicidade.
Nitrato de prata	Porosas (papel e madeira).	Ótimas condições de contraste e nitidez	Revelação em curto tempo, requer rápido registro fotográfico.
Cianoacrilato	Não porosa (vidro, plástico, cerâmica e materiais sintéticos)	Pode ser aplicado diversas superfícies, incluindo papel, moeda, fitas adesivas etc.	Toxicidade; baixa efetividade em impressões digitais antigas ou molhadas; efeito destrutivo; requer câmeras de vaporização de alto custo; reação lenta; requer acompanhamento constante.
Ninidrina	Porosas (papel, principalmente)	Boas condições de contraste e nitidez	Reação lenta e toxicidade. Algumas marcas ficam roxa em poucos minutos, e outras podem levar várias semanas para obter bons resultados. As amostras devem ser mantidas no escuro, pois a exposição à luz pode fazer com que as impressões desapareçam
Violeta Genciana	Não porosa (Fita adesiva de papel, e fita isolante de PVC)	Coloração púrpura que permite o contraste e a visualização das digitais.	Requer luvas adequadas; processo deve ser conduzido dentro de um exaustor pelo fato de o fenol ser considerado altamente tóxico.
1,8-Dazafluoren-9-ona (DFO)	Porosas (papel e madeira)	Elevada capacidade de revelação de impressão de digital com sangue (superior a ninidrina) As impressões digitais latentes reveladas apresentam uma forte fluorescência quando iluminadas com uma fonte de excitação (Laser).	Digitais facilmente afetadas pela cor e propriedades dos substratos de fundo; apresenta baixa sensibilidade; requer fonte de luz Laser, filtros apropriados para a visualização de impressões digitais processadas. Comparável com ninidrina, mas desenvolve impressões roxas que são mais claras e mostram uma forte fluorescência.
Corantes ácidos	Tanto em superfícies porosas como não porosas, mas preferencialmente em superfícies não porosas (paredes, tapetes, plásticos, vidros e metais).	Excelente capacidade de revelação de impressão de digital com sangue em vários tons de azul.	Apresenta toxicidade. Estas substâncias reagem ligando-se as proteínas no sangue ou outros fluidos corporais, mas não interage com componentes comuns de impressões digitais. Deve ser usado apenas para impressões digitais que consistem em todo ou parte de sangue.

Fonte: Bécue, Eldridge e Champod, (2020), Cadd *et al.*, (2016), Ferreira *et al.*, (2021).

Inúmeras pesquisas científicas estão sendo direcionadas para ao aprimoramento de fatores como toxicidade, sensibilidade, superfície, eficiência dos materiais e métodos de revelação, utilizando de técnicas espectroscópicas apropriadas e abordagens baseadas em nanopartículas dopadas com terra-raras (Bhatia, 2021; Bleay, et al., 2018; Hazarika & Russell, 2012;

Naik *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2017), corantes naturais (Garg, *et al.*, 2011; Pacheco *et al.*, 2021), compostos orgânicos (Balsan *et al.*, 2019; Gayathri *et al.*, 2021) e quantum dots (QDs) (Becue *et al.*, 2009; Moret, *et al.*, 2013; Pandiyan *et al.*, 2020).

Diversos estudos são voltados para o melhoramento das impressões digitais de suor e sebáceas latentes (Hazarika & Russell, 2012) e estudos em diferentes superfícies (Wang *et al.*, 2015; Younis *et al.*, 2021). Entretanto, as impressões digitais com a presença de sangue ainda apresentam inconsistências em sua revelação, as quais geralmente são deixadas na cena do crime, e carregam consigo provas valiosas para a solução de um caso. As impressões digitais de sangue sem contaminantes depositadas na superfície dos objetos são facilmente detectáveis, tendo em vista que o contraste de cores entre o sangue vermelho e o fundo do substrato é de fácil visualização. No entanto, como o sangue se espalha rapidamente, pode exigir um maior refinamento ao analisar os detalhes. Como as superfícies podem ser contaminadas ou água pode ser misturada com sangue no momento do crime, as digitais podem ficar latentes à medida que a cor avermelhada desaparece (Li *et al.*, 2016).

Uma grande variedade de materiais inorgânicos e orgânicos têm sido estudados para aplicações forenses. Até o momento, os reagentes propostos para a melhoria das impressões digitais com sangue são: 1,8-diazafluoren-9-ona, corantes ácidos, ninidrina e alguns sistemas de nanopartículas dopadas com terras raras (Swati *et al.*, 2018). Entretanto, esses reagentes usuais possuem alguns problemas na detecção de impressões digitais de sangue. Por exemplo, eles são facilmente afetados pela cor e propriedades dos substratos, além disso, a toxicidade e a baixa sensibilidade de detecção também são aspectos limitantes (Cadd *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017).

2. Metodologia

2.1 Estratégia de pesquisa

Em se tratando de pesquisas científicas, a revisão da literatura é uma ferramenta importante para aprofundamento em algum tema específico (Sampaio & Mancini, 2007). Estudos acerca de um assunto abrangente, como o desenvolvimento e o uso de materiais luminescentes para aplicações em marcadores forenses para identificação de digital com sangue, é extremamente relevante. A respeito da metodologia utilizada neste estudo, caracterizou-se por uma revisão bibliográfica baseada em uma revisão sistemática, utilizando o método PRISMA (Moher *et al.*, 2009), como um critério para seleção da leitura dos artigos e as formas de exclusão e inclusão, baseada nas discussões por meio de uma análise dos resultados dos artigos averiguados sobre os principais materiais e métodos utilizados no desenvolvimento de marcadores forenses para revelação de digital com sangue em diferentes superfícies. Os artigos selecionados foram encontrados em diferentes bases de dados científicos, a saber: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Google Acadêmico e *Web of Science*. Os descritores utilizados nas pesquisas, no idioma português e inglês, foram: “ciências forenses”, “revelação de impressão digital com sangue”, “marcadores forenses” e “aplicações em ciências forenses”.

2.2 Critério de exclusão e inclusão

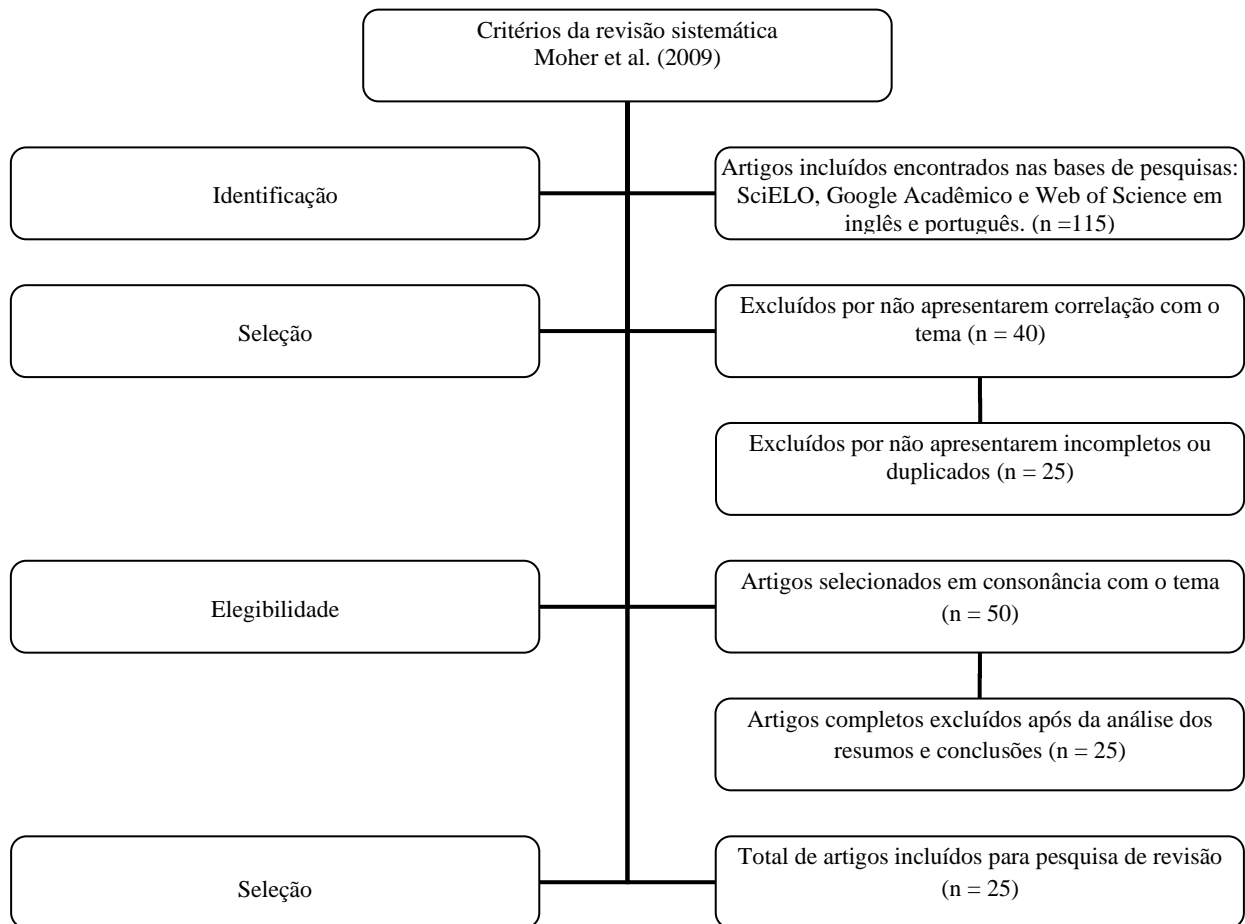
Inicialmente realizou-se um levantamento bibliográfico, somente foram incluídos os artigos no idioma inglês e português que possuíam nos títulos as palavras chaves citadas anteriormente, sendo estes revisados por pares e em revistas indexadas nos últimos 15 anos, entre 2007-2022. Foram excluídos artigos que não abordam a temática da ciência forense e que não estava diretamente relacionado com a aplicações em marcadores forenses para revelação de digital com sangue.

2.3 Seleção de artigos

O principal intuito desta revisão foi avaliar as práticas sugeridas pelos autores para melhorar a identificação de digital com sangue em diferentes superfícies, bem como as principais abordagens utilizadas para evitar a toxicidade, sensibilidade, superfície, eficiência dos materiais e os métodos utilizados para revelação de impressão digital com sangue. Aqui, buscou-se

entender as relações entre estes marcadores forenses e as melhorias na qualidade das investigações dos peritos, que foram critérios importantes para a seleção dos artigos. Depois da aplicação dos critérios acima, os artigos foram selecionados a partir da leitura dos títulos, resumos e conclusões. Após a seleção, foi realizado o estudo completo desses artigos. Neste processo de seleção dos artigos resultou em 25 estudos que foram incluídos nessa revisão, conforme ilustrado no fluxograma ilustrado na Figura 1, a qual está evidenciado todo o processo de seleção aplicada na revisão sistemática.

Figura 1: Fluxograma da literatura pesquisada.



Fonte: Autores.

A partir dos critérios adotados acima obtivemos um quantitativo de 25 artigos que foram lidos e analisados na íntegra. Entretanto, alguns artigos que não estão diretamente relacionados com a identificação de digital com sangue ainda foram utilizados como suporte em nossa discussão, devido às suas propriedades luminescentes ao amplo campo de aplicações, como marcação de resíduos de tiro, dispositivos optoeletrônicos e bioimagens, por exemplo. Portanto, para uma melhor visualização dos dados extraídos para a análise, foram utilizadas na Tabela 2 as seguintes variáveis: autores/ ano do artigo; título e revistas indexadas.

Tabela 2: Trabalhos selecionados para discussão.

SELEÇÃO	AUTORES/ANO	TÍTULO DE ARTIGO	REVISTA
1	Barni <i>et al.</i> , (2007)	Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection.	<i>Talanta</i>
2	Bécue <i>et al.</i> , (2009)	Use of quantum dots in aqueous solution to detect blood fingerprints on non-porous surfaces	<i>Forensic science international,</i>
3	Rocha <i>et al.</i> , (2011)	Luminescent multifunctional lanthanides-based metal–organic frameworks	<i>Chemical Society Reviews</i>
4	Taydakov <i>et al.</i> , (2011)	Synthesis, X-ray structure and luminescent properties of Sm ³⁺ ternary complex with novel heterocyclic β -diketone and 1, 10-phenanthroline (Phen).	<i>Journal of rare earths</i>
5	Garg, R. K., Kumari, H., Kaur, R. (2011)	A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: a rhizomatous herbaceous plant (<i>Curcuma longa</i>)	<i>Egyptian Journal of Forensic Sciences</i>
6	Silva <i>et al.</i> , (2012)	Luminol in the forensic science	<i>Journal of Biotechnology and Biodiversity</i>
7	Hazarika e Russell (2012)	Advances in fingerprint analysis.	<i>Angewandte Chemie International Edition</i>
8	Moret, S., Bécue, A., e Champod (2013)	Cadmium-free quantum dots in aqueous solution: Potential for fingerprint detection, synthesis and an application to the detection of fingerprints in blood on non-porous surfaces	<i>Forensic science international</i>
9	Wang <i>et al.</i> , (2015)	Rare earth fluorescent nanomaterials for enhanced development of latent fingerprints	<i>ACS applied materials & interfaces</i>
10	Luedeke, Miller e Sprague (2016)	The effects of Bluestar® and luminol when used in conjunction with tetramethylbenzidine or phenolphthalein.	<i>Forensic science international</i>
11	Cadd <i>et al.</i> , (2016)	A comparison of visible wavelength reflectance hyperspectral imaging and Acid Black 1 for the detection and identification of blood stained fingerprints.	<i>Science & Justice</i>
12	Li <i>et al.</i> , (2016)	NIR-responsive NaYF ₄ : Yb, Er, Gd fluorescent upconversion nanorods for the highly sensitive detection of blood fingerprints	<i>Dyes and Pigments</i>
13	Wang <i>et al.</i> , (2017)	Fluorescent nanomaterials for the development of latent fingerprints in forensic sciences	<i>Advanced functional materials</i>
14	Swati <i>et al.</i> , (2018)	Chemistry of extracting high-contrast invisible fingerprints from transparent and colored substrates using a novel phosphorescent label	<i>Analytical Methods,</i>
15	Rawtani <i>et al.</i> , (2019)	Functionalized nanomaterial for forensic sample analysis	<i>Trends in Analytical Chemistry</i>
16	Júnior <i>et al.</i> , (2020)	New Eu ^{III} Pyromellitic Metal–Organic Framework of Intense Red-Orange Luminescence and High Thermal Stability for Marking in Gunshot Residues	<i>Journal of Physical Chemistry C</i>
17	Bécue, A., Eldridger, H., Champod, C. (2020)	Interpol review of fingerprints and other body impressions	<i>Forensic Science International: Synergy</i>

18	Prasad <i>et al.</i> , (2020)	Role of nanomaterials for forensic investigation and latent fingerprinting—a review	<i>Journal of forensic sciences</i>
19	Firmino <i>et al.</i> , (2021)	Eu ³⁺ -doped SiO ₂ -Y ₂ O ₃ containing Sr ²⁺ for application as fingerprinting detector.	<i>Optical Materials</i>
20	Younis <i>et al.</i> , (2021)	Rare earth metal-organic frameworks (RE-MOFs): Synthesis, properties, and biomedical applications	<i>Coordination Chemistry Reviews</i>
21	Zhang <i>et al.</i> , (2021)	Functional Copolymers Married with Lanthanide (III) Ions: A Win-Win Pathway to Fabricate Rare Earth Fluorescent Materials with Multiple Applications.	<i>The Journal of Physical Chemistry</i>
22	Yan <i>et al.</i> , (2021)	Lighting up forensic science by aggregation-induced emission: A review.	<i>Analytica Chimica Acta</i>
23	Pacheco <i>et al.</i> , (2021)	Monofunctional curcumin analogues: evaluation of green and safe developers of latent fingerprints	<i>Chemical Papers</i>
24	Naik <i>et al.</i> , (2021)	Influence of Cu doping on ZnO nanoparticles for improved structural, optical, electrochemical properties and their applications in efficient detection of latent fingerprints	<i>Chemical Data Collections</i>
25	Sushma <i>et al.</i> , (2022)	Color tunable SrZrO ₃ : Sm ³⁺ nanopowders with satisfactory photoluminescent, band engineering properties for warm white LEDs and advanced forensic applications.	<i>Journal of Molecular Structure</i>

Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

A partir da seleção dos artigos, analisamos as principais discussões, alternativas e tendências acerca do tema sugerido no presente trabalho. Nosso principal intuito foi avaliar questões sobre os materiais utilizados para o aprimoramento de fatores como toxicidade, sensibilidade, superfície e a eficiência dos materiais e dos métodos de revelação de impressão de digital com sangue. A seguir, discutiremos as principais contribuições evidenciadas nessas pesquisas científicas.

Um dos métodos mais utilizados pelos cientistas forenses para identificação de crimes violentos por mais de 50 anos é a aplicação do composto orgânico comumente conhecido por luminol (3-aminofthalhidrazida), devido às suas propriedades quimioluminescente, tornando-se capaz de emitir na cor azul após ser oxidado em meio ácido ou alcalino, sem necessitar de uma fonte de luz (Luedeke, et al., 2016; Silva, da *et al.*, 2012). Embora a preparação e aplicação do luminol seja bastante simples, a interpretação dos resultados é desafiadora, devido algumas limitações no que diz respeito ao seu tempo de resposta, toxicidade, captura das imagens no local do crime e o alto custo do kit de soluções (Firmino *et al.*, 2021). Além disso, é uma reação instável e requer certos cuidados, pois o seu uso em excesso pode prejudicar a investigação criminal (Barni *et al.*, 2007). Neste contexto, um número considerável de pesquisas envolvendo o desenvolvimento de novas substâncias a base luminol têm impulsionado os cientistas a integrá-los à nanotecnologia, com o intuito de desenvolver biossensores a partir da inserção de vários compostos como nanopartículas, óxidos metálicos, íons metálicos e enzimas (Rocha *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012; Prasad *et al.*, 2020). Também, deve-se levar em consideração a estrutura física do substrato sobre o qual as manchas de sangue são encontradas, a composição química do substrato que contenha as manchas e quaisquer outras substâncias presentes (Barni *et al.*, 2007; Garg, et al., 2011).

Recentemente, vários estudos têm focado no uso de nanopartículas (NPs) para revelar impressões digitais com sangue. Em particular, pontos quânticos (do inglês, *quantum dots* - QDs) tem atraído bastante interesse dos pesquisadores para esse tipo de aplicação (Becue *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2016; Moret, et al., 2013; Rawtani *et al.*, 2019). NPs, quando excitadas pela radiação ultravioleta (UV) podem emitir fluorescência na região do visível e melhorar o contraste da impressão digital com

sangue. No entanto, apresentam inúmeras desvantagens, incluindo alta interferência de fundo devido à autofluorescência dos substratos, bem como a toxicidade dos QDs. Sendo assim, ainda há uma grande necessidade no desenvolvimento de novos materiais para detecção de impressões digitais de sangue com maior sensibilidade, sem interferência de fundo, contraste aprimorado e baixa toxicidade (Naik *et al.* 2021; Li *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2015, 2017).

Nanopartículas de conversão ascendente (NPs-UP) são extremamente reportadas como promissoras para revelação de impressão digital latente com sangue, particularmente nanocristais dopados com íons lantanídeos são denominados a chave para a próxima geração de imagens fluorescentes (Chen *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2016; Taydakov *et al.*, 2011; Younis *et al.*, 2021;). Tendo em vista que elas podem emitir uma forte fluorescência visível, torna possível alcançar uma alta sensibilidade e um alto contraste na revelação de impressões digitais por meio de imagens de fluorescência (Zhang *et al.*, 2021).

Estudos recentes mostram que dentre os diversos materiais investigados para fins forenses estão os corantes fluorescentes (Rodamina B, vermelho congô, amarelo de eosina, azul eosina) e pontos quânticos (TiO₂ CdSe, CdS, ZnS) podem ser usados para revelar impressões digitais em diferentes tipos de substratos. Fósforos de conversão ascendente com emissão no infravermelho próximo (NaYF₄:Yb,Er/Ce, Li₂O:Yb³⁺/Er³⁺, La₂O₃:Er³⁺/Yb³⁺, NaGdF₄Er³⁺/Yb³⁺), também são usados para aumentar o contraste das impressões digitais desenvolvidas (Garg, *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2016; Swati *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2017). Todavia, estes materiais apresentam algumas desvantagens, tais como requer fonte contínua de excitação e sofisticada, fotodegradação e a autofluorescência do fundo não pode ser evitada (Swati *et al.*, 2018).

Em se tratando de problemas envolvendo o desenvolvimento de marcadores luminescentes para diferentes aplicações forenses como identificação de resíduos de tiro e impressão digital com sangue, as moléculas orgânicas são candidatas em ascensão para inúmeras aplicabilidades, devido à sua facilidade de síntese, versatilidade estrutural, altas respostas ópticas em comparação com os inorgânicos (Yan *et al.*, 2021; Bhatia, 2021; Prasad *et al.*, 2020; Júnior *et al.*, 2020). É intensamente relatado na literatura que uma das maneiras mais utilizadas para intensificar as respostas luminescentes em orgânicos, tem sido adicionar grupos doadores e aceptores de elétrons às extremidades de um sistema conjugado, aumentar o comprimento da cadeia (Chemla, 2012; Teo *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2014), complexar ligantes orgânicos com íons de metais de transição (Taboukhat *et al.*, 2020; Vivas *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2018) e íons lantanídeos trivalentes (Ln³⁺) (Ye *et al.*, 2014). Neste contexto, a formação de complexos metálicos dá origem aos materiais híbridos (orgânico-inorgânico), sendo estes classificados como estruturas metal-orgânico (do inglês, Metal-Organic Framework - MOFs) (Cui *et al.*, 2012; Parola *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2014) e organo-lantanídeo (do inglês, Lanthanide-Organic Framework - LOFs) (Binnemans, 2009; Hannachi *et al.*, 2019; Tancrez *et al.*, 2005). Além disso, uma estratégia utilizada para otimizar as propriedades ópticas é o desenvolvimento de MOFs funcionalizados com íons Ln³⁺, os quais são designados de complexos LnMOFs (Rocha *et al.*, 2011; Tobin *et al.*, 2015).

Os materiais Ln-MOFs têm atraído considerável atenção como materiais luminescentes, devido à transferência de carga entre os ligantes e os íons metálicos, mas também por suas propriedades excepcionais que reúnem todas as características das moléculas orgânicas citadas acima, com a alta estabilidade química, térmica, mecânica, flexibilidade e previsibilidade estrutural das estruturas MOF e a intensa luminescência dos Ln³⁺, resultam em materiais multifuncionais (Anwar *et al.*, 2012; Nguyen *et al.*, 2020; Yan, 2017). Para fins práticos em ciências forenses, alguns lantanídeos trivalentes absorvem no ultravioleta e emitem no visível (Pr³⁺, Sm³⁺, Eu³⁺, Tb³⁺, Dy³⁺, Tm³⁺) e outros absorvem no visível e emitem no infravermelho próximo (Nd³⁺, Ho³⁺, Er³⁺, Yb³⁺). Por outro lado, os ligantes orgânicos emitem na região azul ou ultravioleta com uma banda larga, possuem alta absorvidade molar e elevadas respostas luminescentes (Ferreira, *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2020; Sushma *et al.*, 2022). Por exemplo, quando os íons Ln³⁺ são introduzidos para funcionalizar uma estrutura MOF, fornecem vários centros luminescentes que emitem em diferentes regiões do espectro do visível e NIR próximos bandas estreitas, no entanto, estes apresentam baixa absorvidade molar. Sendo assim, a combinação dessas vantagens dos materiais híbridos tem se mostrado

uma grande tendência para o estudo das propriedades ópticas, sendo impulsionada pelo um aumento significativo de trabalhos científicos (Ayhan *et al.*, 2014; Martin-Ramos & Ramos-Silva, 2018; Safdar *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020).

Dentre as diferentes classes de ligantes orgânicos que podem potencializar o desempenho das propriedades ópticas de íons metálicos encontram-se os ligantes carboxilatos, heteroaromáticos, bipyridina e β -dicetonato (Dang *et al.*, 2012; Rocha *et al.*, 2011; Tobin *et al.*, 2015; Yan, 2017; Dalal *et al.*, 2022). Estes ligantes têm despertado um grande interesse da comunidade científica para o planejamento e a síntese de estruturas orgânicas contendo os íons de metais de transição e os Ln^{3+} . Os principais requisitos que os materiais híbridos devem cumprir para serem aplicados para fins forenses são: (i) grupos funcionais que permitam a coordenação com os íons metálicos, (ii) absorção no visível e emissão na região do NIR, (iii) alta estabilidade química e térmica e (v) elevadas respostas luminescentes. Sendo assim, a disponibilidade de materiais com propriedades ópticas adequadas é o principal ponto para aplicações práticas. No entanto, a obtenção de cristais orgânicos dopados com íons metálicos ativos podem envolver processos demorados e caros. Assim, o planejamento estratégico da síntese de materiais do tipo Ln-MOFs ativos, a partir de modelagem computacional é um dos primeiros passos a ser seguido para o desenvolvimento de materiais promissores para ciências forenses (Nguyen *et al.*, 2020; Yan, 2017).

Ademais, os materiais luminescentes multifuncionais são uma grande promessa para aplicações em ciência forense, devido à sua excelente sensibilidade, seletividade e capacidade de reduzir significativamente o tempo total de análise. No entanto, este ainda é um campo emergente e há grandes lacunas na pesquisa. Por exemplo, pesquisas de identificação de manchas de sangue em diferentes superfícies e outras evidências biológicas como sêmen e saliva ainda são mínimas. Desse modo, fica evidente a necessidade de mais pesquisas e estudos sobre o tema, a fim de intensificar os dados científicos e garantir uma padronização de um método para suprir as necessidades técnicas dos peritos.

4. Considerações Finais

Os métodos convencionais de detecção de impressão digital latentes são úteis para identificação e visualização de vestígios de sangue em uma ampla variedade de substratos, entretanto, notou-se que nenhuma técnica é ideal para análise de todos os tipos de superfícies, com isso novos métodos e materiais estão em desenvolvimento para tentar suprir essa inconsistência. A aplicação dos pós fluorescentes oferece mais vantagens em relação aos pós convencionais, sendo estes muito úteis principalmente quando a impressão se encontra em um substrato com fundo mesclado. Neste contexto, o aperfeiçoamento das respostas luminescentes a partir das novas redes metal-orgânicas Ln-MOFs, tem sido uma aposta como marcadores forenses para revelação de impressão de digital latente sanguínea, devido a maior sensibilidade, imagem com contraste aprimorado e sem interferência de fundo do substrato e baixa toxicidade. Aqui, verificou-se que mais pesquisas são necessárias para entender melhor o mecanismo de reação envolvido desses materiais, bem como desenvolvimento de novos materiais eficientes, com baixa toxicidade e mais sensíveis para o processamento de impressão digital latentes em diferentes superfícies.

Por conseguinte, sugerimos como trabalhos futuros, o desenvolvimento de novos materiais para detecção de impressões digitais de sangue, bem como a produção de dispositivos ópticos e kits forenses, como por exemplo uma maleta forense para material luminescente composta por itens que permita uma melhor visualização e armazenamento das impressões digitais com sangue, como marcadores luminescentes para detecção de digitais em diferentes superfícies, sensores ópticos, conjunto de luzes e laser portátil, possibilitando uma maior segurança na coleta e no transporte dessas evidências sanguíneas em cena do crime para auxiliar nas etapas da cadeia de custódia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESPA, termo de Outorga n° 46/2021, pelo aporte financeiro.

Referências

- Anwar, M. U., Tandon, S. S., Dawe, L. N., Habib, F., Murugesu, M., & Thompson, L. K. (2012). Lanthanide complexes of tritopic bis (hydrazone) ligands: single-molecule magnet behavior in a linear DyIII3 complex. *Inorganic chemistry*, 51(2), 1028–1034.
- Ayhan, M. M., Singh, A., Jeanneau, E., Ahsen, V., Zyss, J., Ledouz-Rak, I., Gürek, A. G., Hirel, C., Bretonnière, Y., & Andraud, C. (2014). ABAB homoleptic bis (phthalocyaninato) lanthanide (III) complexes: original octupolar design leading to giant quadratic hyperpolarizability. *Inorganic chemistry*, 53(9), 359–4370.
- Balsan, J. D., Rosa, B. N., Pereira, C. M. P., & Santos, C. M. M. (2019). Desenvolvimento de metodologia de revelação de impressão digital latente com chalconas. *Química Nova*, 42, 845–850.
- Barni, F., Lewis, S. W., Berti, A., Miskelly, G. M., & Lago, G. (2007). Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection. *Talanta*, 72(3), 896–913.
- Bécue, A., Eldridger, H., & Champod, C. (2020). Interpol review of fingerprints and other body impressions 2016–2019. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 442–480.
- Bécue, A., Moret, S., Champod, C., & Margot, P. (2009). Use of quantum dots in aqueous solution to detect blood fingerprints on non-porous surfaces. *Forensic science international*, 191(1), 36–41.
- Bhatia, T. (2021). Novel nanomaterials in forensic investigations: A review. *Materials Today: Proceedings*, 50(5), 1071–1079.
- Binnemans, K. (2009). Lanthanide-based luminescent hybrid materials. *Chemical reviews*, 109(9), 4283–4374.
- Bleay, S. M., Croxton, R. S., & Puit, M. (2018). *Fingerprint development techniques: theory and application*. Wiley.
- Cadd, S., Li, B., Beveridge, P., William, T. O., Campbell, A., & Islam, M. (2016). A comparison of visible wavelength reflectance hyperspectral imaging and Acid Black 1 for the detection and identification of blood stained fingerprints. *Science & Justice*, 56(4), 247–255.
- Chemla, D. S. (2012). *Nonlinear optical properties of organic molecules and crystals*. Elsevier Science.
- Chen, L., Chen, M., Zhou, Y., Ye, C., & Liu, R. (2021). NIR Photosensitizer for Two-Photon Fluorescent Imaging and Photodynamic Therapy of Tumor. *Frontiers in Chemistry*, 9, 1–8.
- Cui, Y., Yue, Y., Qian, G., & Chen, B. (2012). Luminescent functional metal–organic frameworks. *Chemical reviews*, 112(2), 1126–1162.
- Dalal, A., Nehra, K., Hooda, A., Singh, S., Bhagwan, S., Singh, D., & Kumar, S. (2022). 2, 2'-Bipyridine based fluorinated β -Diketonate Eu (III) complexes as red emitter for display applications. *Inorganic Chemistry Communications*, 140, 109399.
- Dang, S., Zhang, J. -H., Sun, Z.-M., & Zhang, G. H. (2012). Luminescent lanthanide metal–organic frameworks with a large SHG response. *Chemical Communications*, 48(90), 11139–11141.
- Darshan, G. P., Premkumar, H. B., Nagabhushana, H., Sharma, S. C., Prasad, B. D., & Prashantha, S. C. (2016). Neodymium doped yttrium aluminate synthesis and optical properties—A blue light emitting nanophosphor and its use in advanced forensic analysis. *Dyes and Pigments*, 134, 227–233.
- Datta, A. K., Lee, H. C., Ramotowski, R., & Gaensslen, R. E. (2001). *Advances in fingerprint technology*. CRC press.
- Ferreira, R. A. S., André, P. S., & Carlos, L. D. (2010). Organic–inorganic hybrid materials towards passive and active architectures for the next generation of optical networks. *Optical Materials*, 32(11), 1397–1409.
- Ferreira, R. G., Paula, R. B. A., Okuma, A. A., & Ferreira, L. M. C. (2021). Fingerprint Development Techniques: A Review. *Revista Virtual Química*, 13(6), 1278–1302.
- Firmino, E., Oliveira, L. S., Martins, F. C. B., S Filho, J. C., Barbosa, H. P., Andrade, A. A., Rezende, T. K. L., Lima, R. C., Santos, M. A. C., & Góes, M. S. (2021). Eu³⁺-doped SiO₂–Y₂O₃ containing Sr²⁺ for application as fingerprinting detector. *Optical Materials*, 114, 111018.
- Garg, R. K., Kumari, H., & Kaur, R. (2011). A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: a rhizomatous herbaceous plant (*Curcuma longa*). *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 1(1), 53–57.
- Gayathri, P., Subramaniyan, S. B., Veerappan, A., Pannipara, M., Al-Sehemi, A. G., Moon, D., & Anthony, S. P. (2021). Knotting Two Donor– π -Acceptor AIEgens Using a Nonconjugated Linker: Tunable and Switchable Fluorescence and Fingerprinting and Live Cell Imaging Applications. *Crystal Growth & Design*, 22(1).
- Hannachi, D., Haroun, M. F., Khirreddine, A., & Chermette, H. (2019). Optical and nonlinear optical properties of Ln (Tp)₂, where Ln= La, ..., Lu and Tp= tris (pyrazolyl) borate: a DFT+ TD-DFT study. *New Journal of Chemistry*, 43(36) 14377–14389.
- Hazarika, P., & Russell, D. A. (2012). Advances in fingerprint analysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(15), 3524–3531.
- Júnior, J. C. A., Santos, G. L., Colaço, M. V., Barroso, R. C., Ferreira, F. F., Santos, M. V., Campos, N. R., Marinho, M. V., Jesus, L. T., & Freire, R. O. (2020). New EuIII Pyromellitic Metal–Organic Framework of Intense Red-Orange Luminescence and High Thermal Stability for Marking in Gunshot Residues. *The Journal of Physical Chemistry C*, 124(18), 9996–10006.
- Li, B.-Y., Zhang, X.-L., Zhang, L.-Y., Wang, T.-T., Li, L., Wang, C.-G., & Su, Z.-M. (2016). NIR-responsive NaYF₄: Yb, Er, Gd fluorescent upconversion nanorods for the highly sensitive detection of blood fingerprints. *Dyes and Pigments*, 134, 178–185.

- Liu, Z., Yan, X., Li, L., & Wu, G. (2017). Theoretical insight into the substituent effects on linear and nonlinear optical properties of azobenzene-based chromophores. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 30(6), 3631.
- Luedeke, M., Miller, E., & Sprague, J. E. (2016). The effects of Bluestar® and luminol when used in conjunction with tetramethylbenzidine or phenolphthalein. *Forensic science international*, 262, 156–159.
- Martin-Ramos, P., & Ramos-Silva, M. (2018). Lanthanide-based multifunctional materials: from OLEDs to SIMs (1st ed.). Elsevier.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group*. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of internal medicine*, 151(4), 264–269.
- Moret, S., Bégue, A., & Champod, C. (2013). Cadmium-free quantum dots in aqueous solution: Potential for fingerprint detection, synthesis and an application to the detection of fingerprints in blood on non-porous surfaces. *Forensic science international*, 224(1), 101–110.
- Naik, E. I., Naik, H. S. B., Swamy, B. E. K., Viswanath, R., Gowda, I. K. S., Prabhakara, M. C., & Chetankumar, K. (2021). Influence of Cu doping on ZnO nanoparticles for improved structural, optical, electrochemical properties and their applications in efficient detection of latent fingerprints. *Chemical Data Collections*, 33, 100671.
- Nguyen, T. N., Eliseeva, S. V., Gladysiak, A., Petoud, S., & Stylianou, K. C. (2020). Design of lanthanide-based metal–organic frameworks with enhanced near-infrared emission. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(20), 10188–10192.
- Pacheco, B. S., Silva, C. C., Rosa, B. N., Mariotti, K. C., Nicolodi, C., Poletti, T., Segatto, N. V., Collares, T., Seixas, F. K., & Paniz, O. (2021). Monofunctional curcumin analogues: evaluation of green and safe developers of latent fingerprints. *Chemical Papers*, 75(7), 3119–3129.
- Pandiyani, S., Aumugam, L., Srirangan, S. P., Pitchan, R., Sevugan, P., Kannan, K., Pitchan, G., Hegde, T. A., & Gandhirajan, V. (2020). Biocompatible carbon quantum dots derived from sugarcane industrial wastes for effective nonlinear optical behavior and antimicrobial activity applications. *ACS omega*, 5(47), 30363–30372.
- Parola, S., Julián-López, B., Carlos, L. D., & Sanchez, C. (2016). Optical properties of hybrid organic-inorganic materials and their applications. *Advanced Functional Materials*, 26(36), 6506–6544.
- Prasad, V., Lukose, S., Agarwal, P., & Prasad, L. (2020). Role of nanomaterials for forensic investigation and latent fingerprinting—a review. *Journal of forensic sciences*, 65(1), 26–36.
- Rawtani, D., Tharmavaram, M., Pandey, G., & Hussain, C. M. (2019). Functionalized nanomaterial for forensic sample analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 120, 115661.
- Rocha, J., Carlos, L. D., Paz, F. A. A., & Ananias, D. (2011). Luminescent multifunctional lanthanides-based metal–organic frameworks. *Chemical Society Reviews*, 40(2), 926–940.
- Safdar, M., Ghazy, A., Lastusaari, M., & Karppinen, M. (2020). Lanthanide-based inorganic–organic hybrid materials for photon-upconversion. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(21), 6946–6965.
- Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11, 83–89.
- Silva, R. R., Agustini, B. C., Silva, A. L. L., & Frigeri, H. R. (2012). Luminol in the forensic science. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 3(4), 172–177.
- Sobral, G. A., Gomes, M. A., Macedo, Z. S., Alencar, M., & Novais, S. M. V. (2016). Synthesis and characterization of multicolour fluorescent nanoparticles for latent fingerprint detection. *Bulletin of Materials Science*, 39(6), 1565–1568.
- Sushma, K. C., Kumar, S., Nagaraju, G., Aarti, D. P., Reddy, M. M., Rudresha, M. S., & Basavaraj, R. B. (2022). Color tunable SrZrO₃: Sm³⁺ nanopowders with satisfactory photoluminescent, band engineering properties for warm white LEDs and advanced forensic applications. *Journal of Molecular Structure*, 1254, 132302.
- Swati, G., Bihnoi, S., Singh, P., Lohia, N., Jaiswal, V. V., Dalai, M. K., & Haranath, D. (2018). Chemistry of extracting high-contrast invisible fingerprints from transparent and colored substrates using a novel phosphorescent label. *Analytical Methods*, 10(3), 308–313.
- Taboukhat, S., Kichou, N., Fillaut, J.-L., Alévêque, O., Waszkowska, K., Zawadzka, A., El-Ghayoury, A., Migalska-Zalas, A., & Sahaoui, B. (2020). Transition metals induce control of enhanced NLO properties of functionalized organometallic complexes under laser modulations. *Scientific reports*, 10(1), 1–15.
- Tancrez, N., Feuvrie, C., Ledoux, I., Zyss, J., Toupet, L., Bozec, H. L., & Maury, O. (2005). Lanthanide complexes for second order nonlinear optics: evidence for the direct contribution of f electrons to the quadratic hyperpolarizability. *Journal of the American Chemical Society*, 127(39), 13474–13475.
- Taydakov, I. V., Zaitsev, B. E., Krasnoselskiy, S. S., & Starikova, Z. A. (2011). Synthesis, X-ray structure and luminescent properties of Sm³⁺ ternary complex with novel heterocyclic β-diketone and 1, 10-phenanthroline (Phen). *Journal of rare earths*, 29(8), 719–722.
- Teo, K. Y., Tiong, M. H., Wee, H. Y., Jasin, N., Liu, Z.-Q., Shiu, M. Y., Tang, J. Y., Tsai, J.-K., Rahamathullah, R., & Khairul, W. M. (2017). The influence of the push-pull effect and a π-conjugated system in conversion efficiency of bis-chalcone compounds in a dye sensitized solar cell. *Journal of Molecular Structure*, 1143, 42–48.
- Tobin, G., Comby, S., Zhu, N., Clérac, R., Gunnlaugsson, T., & Schmitt, W. (2015). Towards multifunctional lanthanide-based metal–organic frameworks. *Chemical Communications*, 51(68), 13313–13316.

- Vivas, M. G., Barboza, C. A., Germino, J. C., Fonseca, R. D., Silva, D. L., Vazquez, P. A. M., Atvars, T. D. Z., Mendonça C. R., & Boni, L. (2020). Molecular Structure–Optical Property Relationship of Salicylidene Derivatives: A Study on the First-Order Hyperpolarizability. *The Journal of Physical Chemistry A*, 125(1), 99–105.
- Wang, M., Li, M., Yu, A., Wu, J., & Mao, C. (2015). Rare earth fluorescent nanomaterials for enhanced development of latent fingerprints. *ACS applied materials & interfaces*, 7(51), 28110–28115.
- Wang, M., Li, M., Yu, A., Zhu, Y., Yang, M., & Mao, C. (2017). Fluorescent nanomaterials for the development of latent fingerprints in forensic sciences. *Advanced functional materials*, 27(14) 1606243.
- Wu, J., Wilson, B. A., Smith JR, D. W., & Nielsen, S. O. (2014). Towards an understanding of structure–nonlinearity relationships in triarylamine-based push-pull electro-optic chromophores: the influence of substituent and molecular conformation on molecular hyperpolarizabilities. *Journal of Materials Chemistry C*, 2(14), 2591–2599.
- Xu, H., Chen, R., Sun, Q., Lai, W., Su, Q., Huang, W., & Liu, X. (2014). Recent progress in metal–organic complexes for optoelectronic applications. *Chemical Society Reviews*, 43(10), 3259–3302.
- Yamashita, B., & French, M.(2011). Latent print development. *The fingerprint sourcebook*, 1, 155–222.
- Yan, B. (2017). Lanthanide-functionalized metal–organic framework hybrid systems to create multiple luminescent centers for chemical sensing. *Accounts of chemical research*, 50(11), 2789–2798.
- Yan, Y., Zhang, J., Yi, S., Liu, L., & Huang, C. (2021). Lighting up forensic science by aggregation-induced emission: A review. *Analytica Chimica Acta*, 1155, 238119.
- Yang, X., Shao, Z., Zhao, Y., Xie, Q., Meng, X., Song, Y., & Hou, H. (2020). Control of third-order nonlinear optical properties by coordination metal change based on a series of metal organic chains. *Polyhedron*, 185, 114598.
- Ye, H. Q., Li, Z., Peng, Y., Wang, C. C., Li, T. Y., Zheng, Y. X., Sapelkin, A., Adamopoulos, G., Hernández, I., & Wyatt, P. B. (2014). Organo-erbium systems for optical amplification at telecommunications wavelengths. *Nature materials*, 13(4), 382–386.
- Younis, S. A., Bhardwaj, N., Bhardwaj, S. K., Kim, K.-H., & Deep, A. (2021). Rare earth metal–organic frameworks (RE-MOFs): Synthesis, properties, and biomedical applications. *Coordination Chemistry Reviews*, 429, 213620.
- Zhang S., Yin, W., Yang, Z., Yang, Y., Li, Z., Zhang, S., Zhang, B., Dong, F., Lv, J., & Han, B. (2021). Functional Copolymers Married with Lanthanide (III) Ions: A Win-Win Pathway to Fabricate Rare Earth Fluorescent Materials with Multiple Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(4), 5539–5550.
- Zhao, P., Tofighi, S., O'Donnell, R. M., Shi, J., Bondar, M. V., Hagan, D. J., & Stryland, E. W. V. (2018). Dual Emissive Multinuclear Iridium (III) Complexes in Solutions: Linear Photophysical Properties, Two-Photon Absorption Spectra, and Photostability. *The Journal of Physical Chemistry C*, 122(12), 6786–6793.