

INTRODUÇÃO

A identificação por impressões digitais é uma técnica consolidada da Ciência Forense, fundamentada na singularidade e permanência das cristas papilares (**Figura 1**). As impressões digitais latentes (IDLs), formadas por resíduos sebáceos e sudoríparos depositados sobre superfícies, tornam-se visíveis por meio da interação físico-química com agentes reveladores. A eficiência desse processo depende das propriedades do material empregado e das condições do substrato e do ambiente.



Figura 1 - Tipos de Impressões digitais.
Fonte: Natosafe, 2022.

A fluorescência é ferramenta analítica estratégica na revelação de IDLs, pois a excitação do fluoróforo sob radiação UV gera emissão em comprimento de onda distinto, ampliando o contraste entre cristas e vales papilares (**Figura 10**) e favorecendo a definição das minúcias. Contudo, essa vantagem ainda demanda avaliação comparativa sistemática frente aos pós sintéticos convencionais quanto à eficiência e aplicabilidade pericial. Em resposta, a presente pesquisa desenvolve e caracteriza material fluorescente de baixa toxicidade, derivado de resíduo agroindustrial e de baixo custo (**Figura 4**), como alternativa sustentável que integra inovação pericial (ODS 9), consumo responsável (ODS 12) e fortalecimento institucional da justiça (ODS 16) - **Figura 5**.



Figura 3 - Substituição da toxicidade pela sustentabilidade.
Fonte: Autoral, 2026.

Os métodos convencionais de revelação de impressões digitais latentes, baseados majoritariamente em pós sintéticos e pigmentos metálicos, apresentam limitações associadas à toxicidade ocupacional, potencial risco ambiental, elevado custo de aquisição e desafios relacionados ao descarte adequado de resíduos químicos. Tais fatores têm impulsionado a investigação de materiais alternativos que conciliem desempenho pericial e sustentabilidade. Nesse contexto, resíduos agroindustriais emergem como fontes promissoras de compostos bioativos, destacando-se a protoporfirina IX (PpIX) (**Figura 7(B)**), pigmento naturalmente presente em cascas de ovos marrons. A PpIX apresenta fluorescência intrínseca sob radiação UV (**Figura 2**), fenômeno físico-químico que promove aumento significativo de contraste por emissão luminosa. Assim, sua incorporação a matrizes inorgânicas configura estratégia racional para o desenvolvimento de insumos periciais mais seguros, sustentáveis e funcionalmente eficientes.

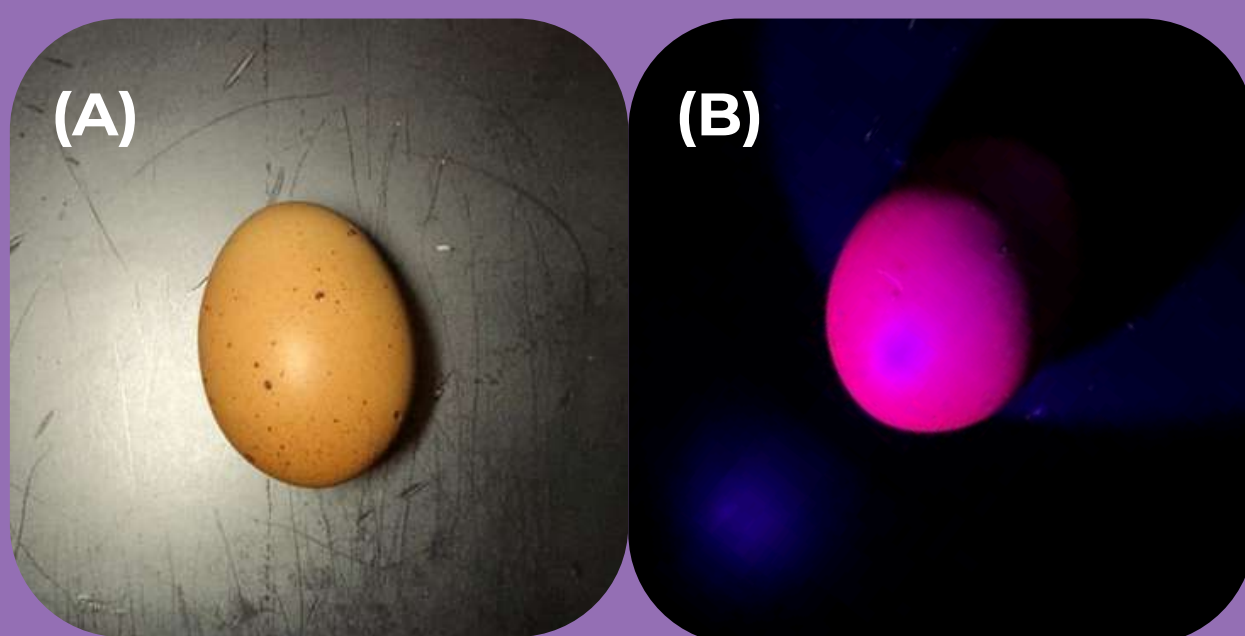


Figura 2 - Ovo marrom exposto à luz natural (A) e UV (B).
Fonte: Autoral, 2026.

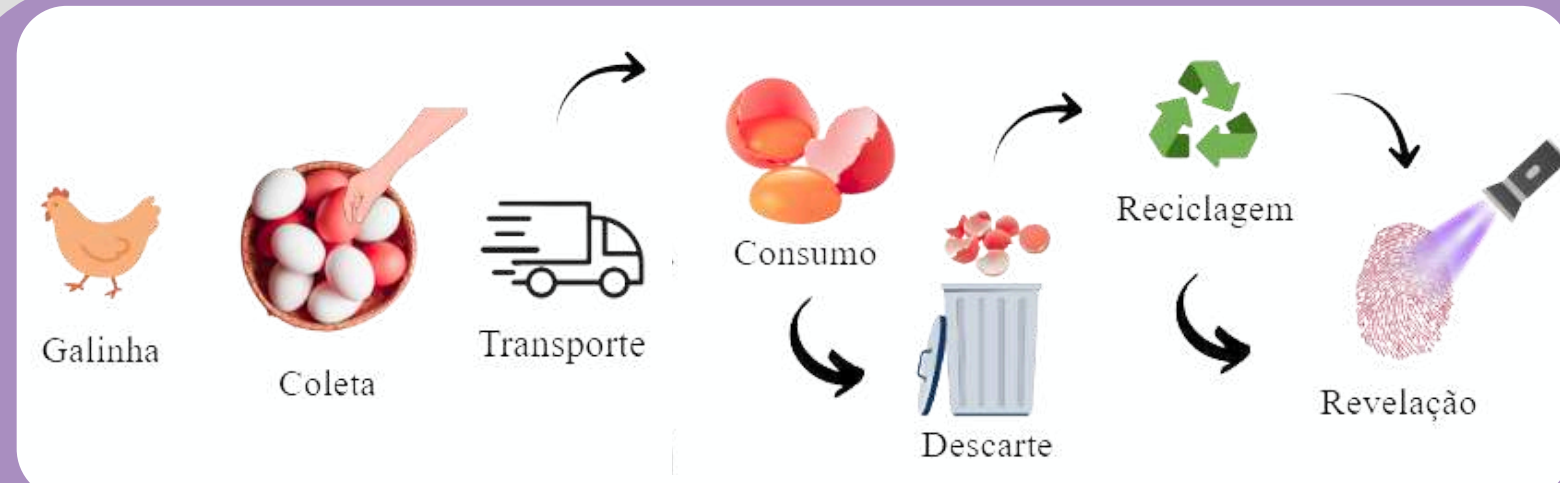


Figura 4 - Processo do ovo marrom e do ovo branco.
Fonte: Autoral, 2026.



Figura 5 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável alinhados com o material produzido.
Fonte: Adaptado de Nações Unidas no Brasil, 2026.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Os pós reveladores obtidos a partir das cascas de ovos brancos e marrons foram caracterizados quanto à composição química e à estabilidade térmica por meio de FTIR, TG/DTG (**Figuras 7 e 9**). O pó contendo PpIX (**Figura 8**) foi aplicado na revelação de IDLs em diferentes superfícies (**Figura 12**), sendo a adesão do pó aos resíduos sebáceos confirmada através das imagens de MEV (**Figura 11**). As impressões reveladas foram avaliadas quanto ao nível de detalhamento das minúcias (**Figura 13**), com classificação segundo a Escala de Bandey (**Gráfico 1**).

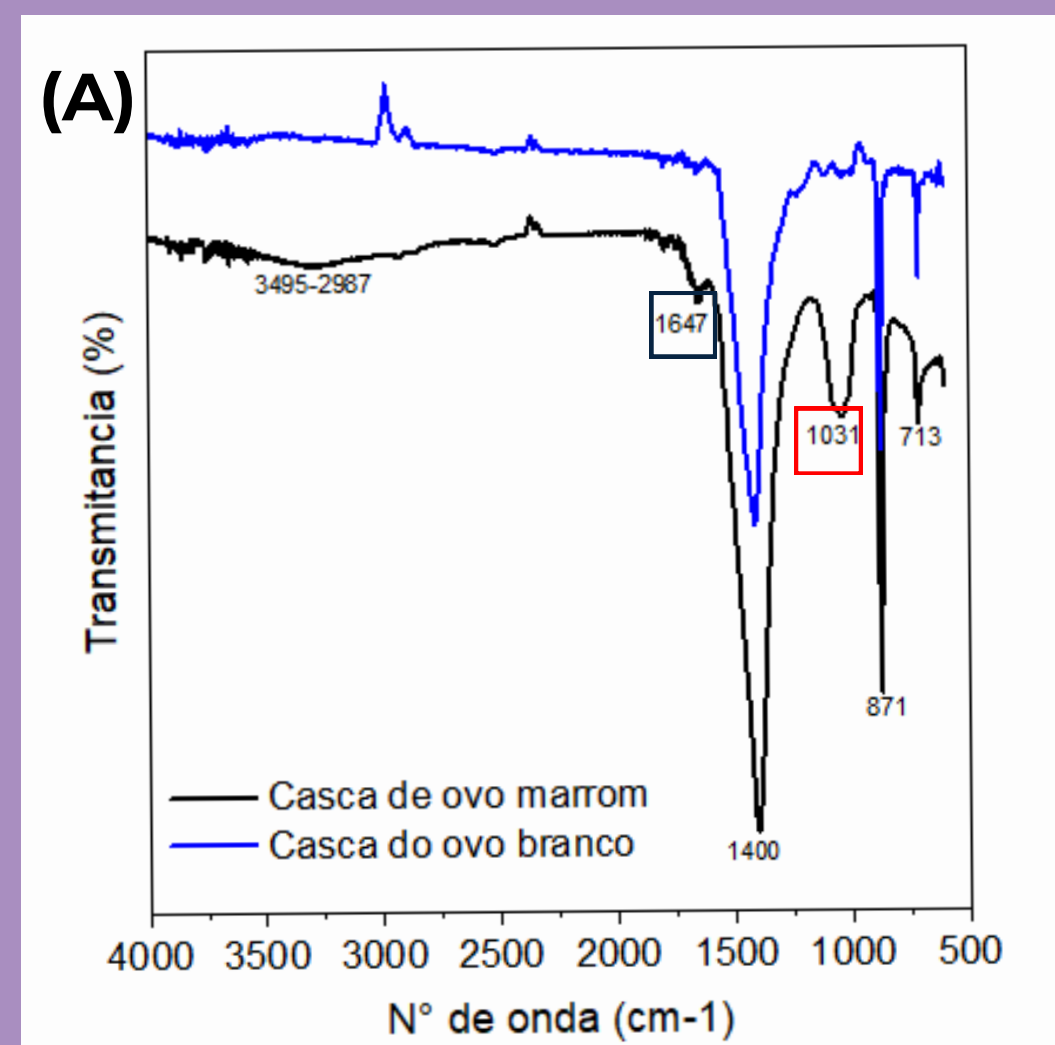
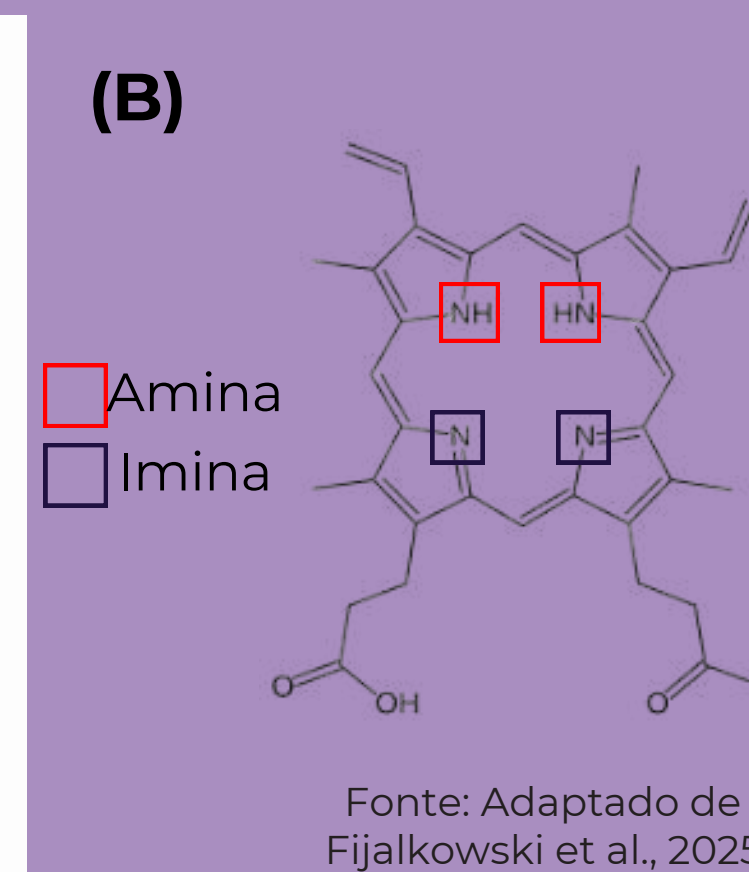


Figura 7 - (A) Espectro de FTIR das amostras de carbonato de cálcio obtidas a partir da casca do ovo branco e do ovo marrom com os respectivos sinais atribuídos a PpIX, molécula representada em (B).
Fonte: Autoral, 2026.



Fonte: Adaptado de Fijalkowski et al., 2025.

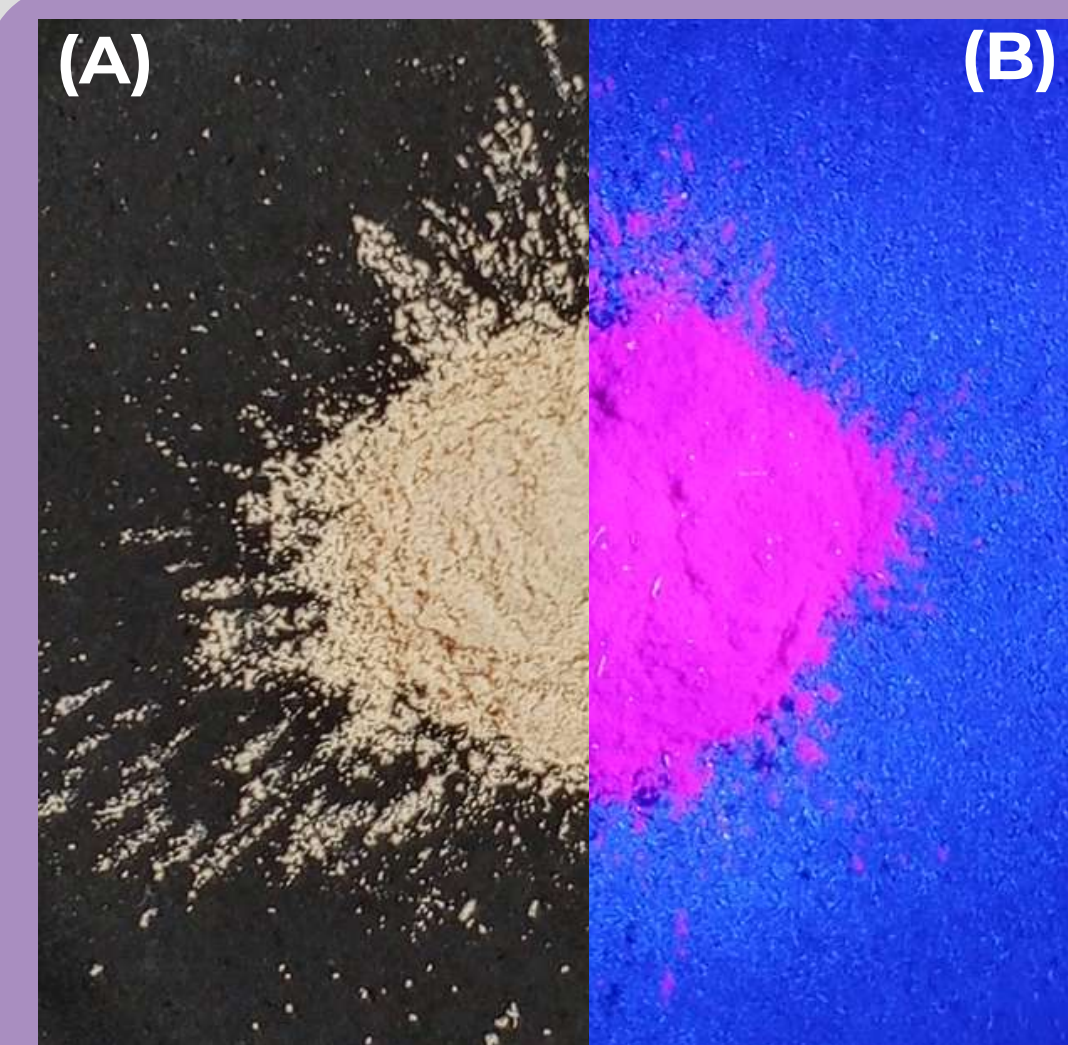


Figura 8 - Pó da casca do ovo marrom (A) submetido a luz natural e (B) submetido a luz UV.
Fonte: Autoral, 2026.

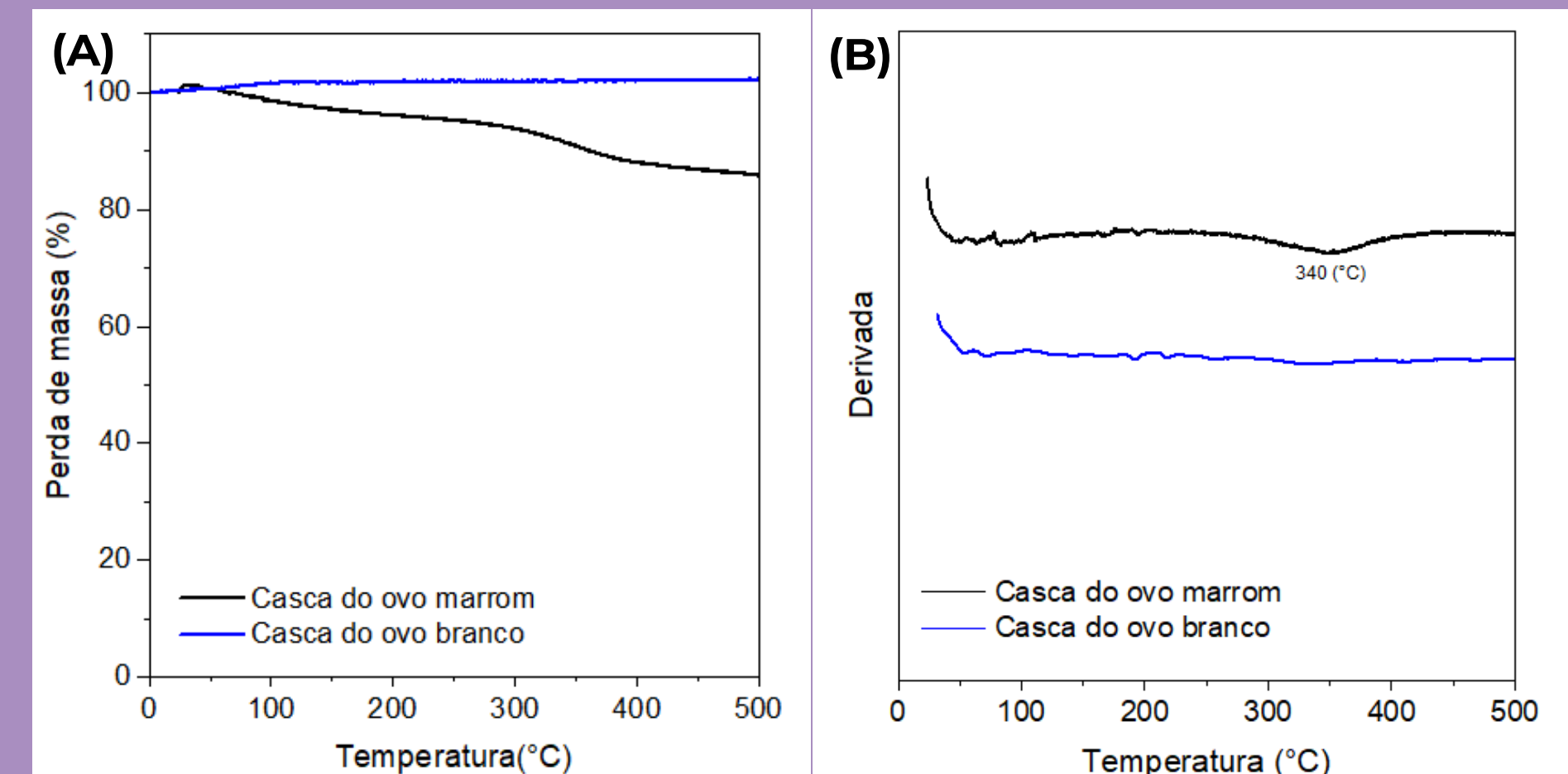


Figura 9 - (A) Termogramas e (B) derivadas de massa das amostras de carbonato de cálcio obtidas a partir da casca do ovo marrom e ovo branco.
Fonte: Autoral, 2026.



Figura 10 - Impressão digital revelada com o pó do ovo marrom: (A) submetida a luz natural e (B) submetida a luz UV.
Fonte: Autoral, 2026.

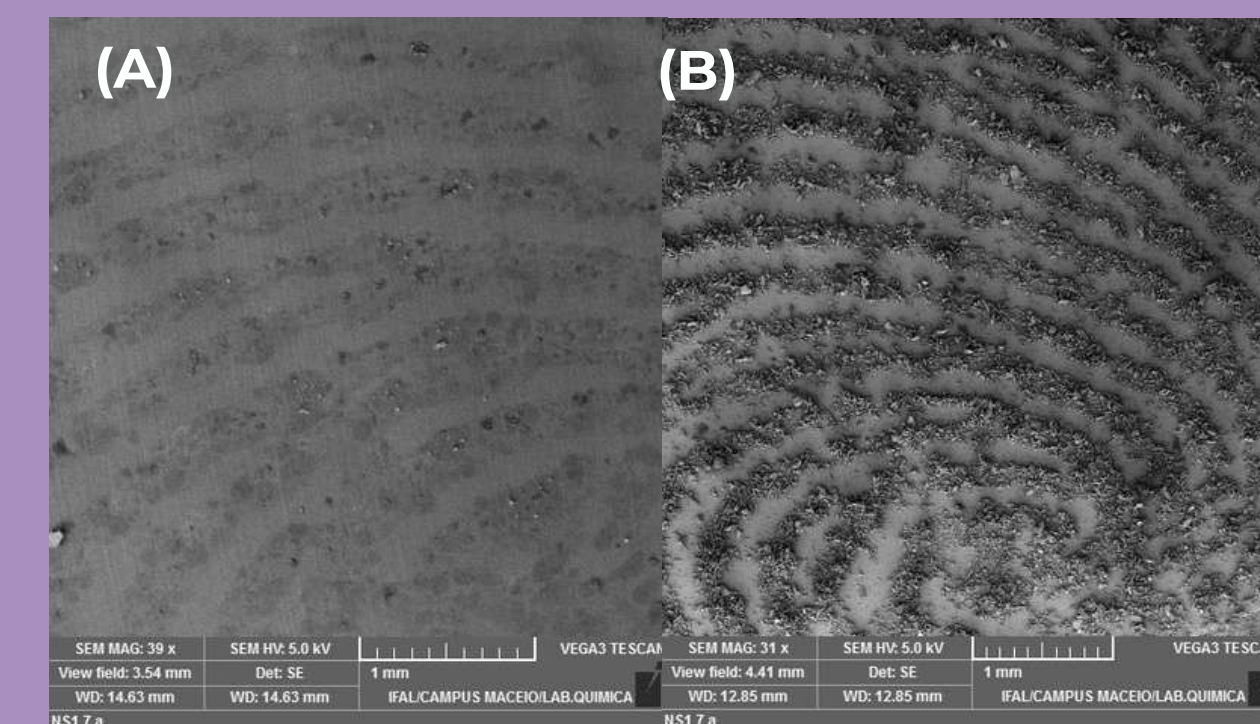


Figura 11 - Imagens de MEV: (A) Impressão digital latente e (B) Impressão digital revelada com o pó do ovo marrom.
Fonte: Autoral, 2026.

METODOLOGIA

Obtenção e Caracterização do Pó da Casca do Ovo Marrom



Deposição e Revelação da Impressão Digital Utilizando o Pó obtido



Figura 6 - (A) Processo para obtenção do pó da casca do ovo marrom e (B) deposição e revelação da impressão digital latente.
Fonte: Autoral, 2026.

Tabela 1 - Escala de bandey: utilizada para definir os níveis em revelações de impressões digitais.

Avaliação	Nível de detalhes
0	Sem evidência de impressão digital
1	Revelação ruim, evidência de interação, mas sem detalhes da crista papilar
2	Revelação limitada, cerca de 1/3 dos detalhes da crista papilar estão presentes, mas provavelmente não podem ser usados para fins de identificação
3	Revelação boa; entre 1/3 e 2/3 dos detalhes da crista papilar, impressão digital identificável
4	Revelação muito boa, todos detalhes de crista papilar, impressão digital identificável

Fonte: Adaptado de BANDEY, 1995.

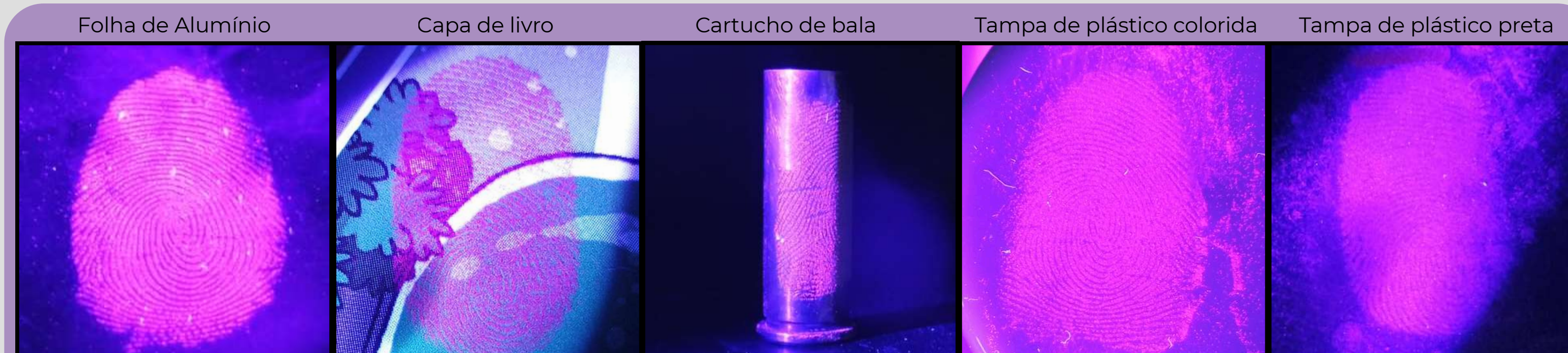


Figura 12 - Impressões digitais reveladas com o pó da casca do ovo marrom submetidas a luz UV em diferentes superfícies.
Fonte: Autoral, 2026.

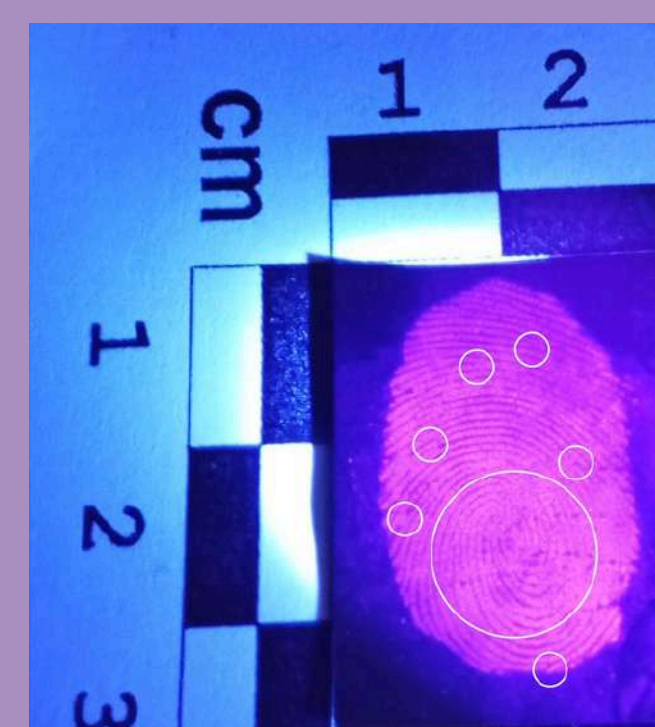


Figura 13 - Impressão digital revelada e exposta a luz UV em superfície de alumínio.
Fonte: Autoral, 2026.

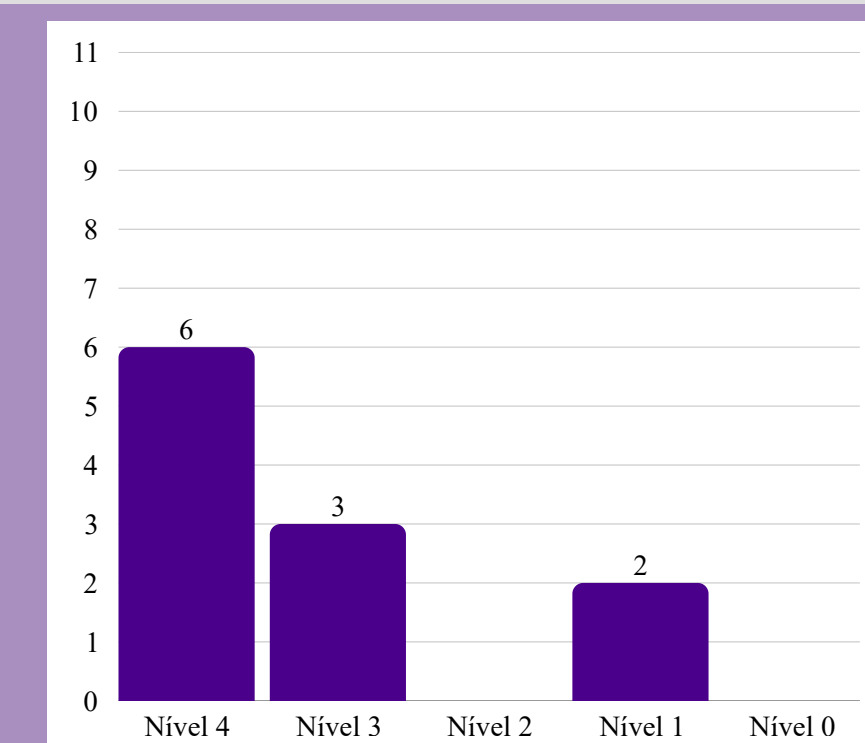


Gráfico 1: Quantidade de impressões digitais reveladas em cada nível determinado pela escala de Bandey.
Fonte: Autoral, 2026.

CONCLUSÃO

Os resultados confirmaram a funcionalização do CaCO_3 com PpIX, evidenciada por FTIR, bem como estabilidade térmica compatível com aplicação pericial, conforme demonstrado por TGA/DTG. Nos ensaios de revelação de impressões digitais latentes, avaliados pela Escala de Bandey, e corroborados por imagens de MEV, o composto $\text{CaCO}_3/\text{PpIX}$ apresentou elevada eficiência na definição de minúcias e contraste intensificado sob radiação UV, em razão da fluorescência intrínseca da PpIX. Proveniente de resíduo agroindustrial e constituído por materiais de baixa toxicidade, o sistema proposto demonstra viabilidade técnica, baixo custo e aplicabilidade prática, alinhando-se aos ODS 9, 12 e 16 ao integrar inovação, produção responsável e fortalecimento de metodologias forenses, configurando contribuição científica consistente para o desenvolvimento de insumos periciais sustentáveis e eficientes.

REFERÊNCIAS

- Aplicação de materiais híbridos baseados em polianilina na química forense: Revelação de impressões digitais latentes em superfícies metálicas. In: **Lillia Iamar Leite Maciel Gama**. [S.l.: S.n.].
- BALSAN, Jaqueline D. et al. Desenvolvimento de metodologia de revelação de impressão digital latente com chalconas. **Química Nova**, Pelotas, v. 42, n. 8, p. 845-850, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170399>. Acesso em: 22 maio 2024.
- DEAN, Michelle L.; MILLER, Tyson A.; BRÜCKNER, Christian. Egg-citing! Isolation of protoporphyrin IX from brown eggshells and its detection by optical spectroscopy and chemiluminescence. **Journal of chemical education**, v. 88, n. 6, p. 788-792, 2011.