



**SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA
COORDENADORIA DE ENSINO
COORDENAÇÃO DE ENSINO PRESENCIAL E DE PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA PÚBLICA**

FERNANDO ALVES DA SILVA

A DOCUMENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL NA PERÍCIA CRIMINAL BRASILEIRA:
diagnóstico institucional e proposição de diretrizes técnico-gerenciais.

GOIÂNIA-GO

2026



FERNANDO ALVES DA SILVA

A DOCUMENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL NA PERÍCIA CRIMINAL BRASILEIRA:
diagnóstico institucional e proposição de diretrizes técnico-gerenciais.

Artigo apresentado como exigência parcial para conclusão do Curso de Especialização em Gerenciamento em Segurança Pública - CEGESP, pela Secretaria de Segurança Pública do Estado de Goiás, sob a orientação do Prof. Dr. Thiago Henrique Costa Silva.

GOIÂNIA-GO

2026

A DOCUMENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL NA PERÍCIA CRIMINAL BRASILEIRA: diagnóstico institucional e proposição de diretrizes técnico-gerenciais.

THREE-DIMENSIONAL DOCUMENTATION IN BRAZILIAN CRIMINAL FORENSICS: institutional diagnosis and proposal of technical-managerial guidelines.

Fernando Alves da Silva¹
Prof. Dr. Thiago Henrique Costa Silva²

Resumo: A documentação tridimensional (3D) de locais de crime amplia a qualidade da prova, mas a variedade de tecnologias e a falta de diretrizes institucionais dificultam sua adoção padronizada. Este artigo propõe diretrizes técnico-gerenciais para a escolha e o uso dessas tecnologias nas polícias científicas brasileiras. De natureza aplicada e qualitativa, a pesquisa combinou revisão bibliográfica, análise normativa, diagnóstico via Lei de Acesso à Informação (28 órgãos) e *Design Science Research*. Os resultados revelam que apenas dois estados entre quatorze respondentes possuem protocolos formalizados, a capacitação restringe-se ao fabricante e a infraestrutura de armazenamento é incipiente. O artefato compõe-se de quatro diretrizes: quadro decisório por cenário pericial, protocolo padronizado de documentação 3D, requisitos de cadeia de custódia digital e estratégias de implementação e monitoramento. A demonstração em cenários contrastantes sugere que as diretrizes são viáveis, normativamente conformes e orientam a tomada de decisão, a padronização de procedimentos e a integridade da prova. Embora a validação externa e a aplicação piloto sejam etapas futuras, o referencial oferece base sistematizada para fundamentar investimentos e promover transparência metodológica na atividade pericial.

PALAVRAS-CHAVE: Documentação 3D forense; Diretrizes; Gestão pericial; Cadeia de custódia; Perícia criminal brasileira.

Abstract: Three-dimensional (3D) documentation of crime scenes enhances forensic evidence quality, but the variety of available technologies and the lack of institutional guidelines hinder its standardized adoption. This article proposes technical-managerial guidelines for the selection and use of these technologies within Brazilian forensic science agencies. The applied, qualitative research combined a literature review, normative analysis, a nationwide survey under Brazil's Access to Information Law (28 agencies), and Design Science Research. Results show that among the fourteen responding states, only two have formal protocols in place, training is largely manufacturer-provided, and digital storage infrastructure remains incipient. The artifact comprises four guidelines: a decision matrix by forensic scenario, a standardized 3D documentation protocol, digital chain-of-custody requirements, and implementation and monitoring strategies. Demonstration in contrasting scenarios suggests that the guidelines are feasible, normatively compliant, and can help guide decision-making, procedural standardization, and evidence integrity. Although external validation and pilot application remain future steps, the proposed framework provides a systematized basis for justifying investments and promoting methodological transparency in forensic work.

KEYWORDS: 3D forensic documentation; Guidelines; Forensic management; Chain of custody; Brazilian forensic science.

¹ Perito Criminal da PCI-GO e Mestrando em Engenharia de Produção (UFG).

² Doutor em Agronegócio (UFG), Professor Adjunto da UEG e Perito Criminal da PCI-GO.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 METODOLOGIA	2
2.1 Levantamento bibliográfico e documental.....	3
2.2 Pesquisa documental e normativa	4
2.3 Diagnóstico institucional via Lei de Acesso à Informação	4
2.4 Posição do pesquisador e contextualização da experiência profissional	5
2.5 Construção, demonstração e avaliação do artefato	5
3 REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1 Tecnologias de documentação 3D e adequação à finalidade pericial.....	7
3.2 Metrologia, validade dos dados digitais e cadeia de custódia	9
3.3 Capacidade institucional e gestão da implementação por processos	10
4 DIAGNÓSTICO NO CONTEXTO BRASILEIRO	10
5 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES.....	13
5.1 Requisitos do artefato	13
5.2 Estrutura das diretrizes.....	13
5.3 Demonstração e avaliação preliminar	16
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
REFERÊNCIAS.....	20
APÊNDICE A - INSTRUMENTO DE SOLICITAÇÃO VIA LEI DE ACESSO À INFORMAÇÃO	23
APÊNDICE B - MATRIZ DE SISTEMATIZAÇÃO DAS RESPOSTAS À LAI.....	24
APÊNDICE C - QUADRO CONSOLIDADO DE REQUISITOS (DIAGNÓSTICO → DIRETRIZES).....	25
APÊNDICE D - DIRETRIZES PARA DOCUMENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL NA PERÍCIA CRIMINAL.....	26
APÊNDICE E - ESTRATÉGIA DE BUSCA DETALHADA E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO BIBLIOGRÁFICA	35

1 INTRODUÇÃO

A documentação do local de crime constitui etapa central da investigação criminal. Os métodos convencionais – fotografias bidimensionais, croquis e descrições narrativas –, embora consolidados, oferecem representações estáticas e estão sujeitos a vieses de perspectiva e interpretação. As tecnologias de reconstrução tridimensional (3D) emergem como um complemento que agrega registro espacial metricamente verificável e interativo, ampliando as possibilidades de análise e comunicação dos achados periciais (Fukuda *et al.*, 2026; Carew; French; Morgan, 2021). O presente estudo circunscreve-se à documentação tridimensional de locais de crime e aos processos institucionais para sua adoção, não abarcando outras aplicações forenses das tecnologias 3D.

A diversidade de tecnologias de documentação 3D atualmente disponíveis – que vão de métodos fotogramétricos consolidados a técnicas emergentes de síntese de novas vistas – oferece um leque de opções com perfis de custo, precisão e complexidade bastante variados (Silva; Alcalá; Cukla, 2025). Essa pluralidade desloca a questão central do domínio puramente técnico para o campo da decisão gerencial: a seleção da tecnologia mais apropriada passa a depender de critérios como finalidade do exame, tolerância de erro exigida, infraestrutura disponível e competência da equipe, e não apenas da disponibilidade circunstancial de equipamento. Na ausência de diretrizes institucionais, a escolha recai sobre o perito individualmente, propiciando heterogeneidade nos produtos periciais e dificultando a comparação e a rastreabilidade dos procedimentos (Neuteboom *et al.*, 2024).

No Brasil, a heterogeneidade das polícias científicas estaduais, cada qual com autonomia administrativa e normativa (Lei nº 12.030/2009), resulta em distintos graus de institucionalização de práticas e protocolos. O panorama traçado por Pinto *et al.* (2020) evidencia essa diversidade, que se manifesta em nomenclaturas, vínculos institucionais e oferta de serviços periciais díspares, sem que mecanismos de coordenação federativa tenham estabelecido padrões mínimos de uniformidade. Diagnóstico realizado para esta pesquisa, por meio da Lei de Acesso à Informação, revelou um quadro heterogêneo de institucionalização, com lacunas significativas de normatização, infraestrutura e capacitação.

A literatura recente tem se dedicado a descrever as diferentes tecnologias de reconstrução 3D e suas aplicações forenses (Fukuda *et al.*, 2026; Maneli; Isafiade, 2022), porém são escassos os estudos que integrem, em uma mesma análise, os requisitos técnicos de desempenho, as exigências normativas da cadeia de custódia digital e as condicionantes da capacidade institucional das polícias científicas. Essa lacuna é particularmente sensível no

contexto brasileiro, marcado pela heterogeneidade federativa e por investimentos em equipamentos que, não raro, antecedem a definição de protocolos de uso. Diante desse cenário, a pergunta que orienta esta pesquisa é: quais requisitos técnicos, jurídicos e gerenciais devem orientar a adoção e o uso institucional da documentação tridimensional em locais de crime? Respondê-la requer mais do que um inventário de exigências; é preciso convertê-las em um instrumento capaz de guiar decisões e padronizar processos. Por isso, o estudo adota a *Design Science Research* (Hevner et al., 2004; Peffers et al., 2007) para, a partir de tais requisitos, propor e avaliar preliminarmente diretrizes técnico-gerenciais para os serviços periciais brasileiros. (...) O artigo está organizado em seis seções... na seção 5, o artefato resultante – as diretrizes – é apresentado, demonstrado e avaliado por argumentação informada.

Este trabalho tem como objetivo propor e avaliar preliminarmente diretrizes técnico-gerenciais para a adoção e o uso da documentação tridimensional nos serviços periciais brasileiros. São objetivos específicos: (a) sistematizar os requisitos técnicos e normativos que condicionam a escolha e a utilização de tecnologias de documentação 3D em locais de crime; (b) diagnosticar as práticas institucionais vigentes nas polícias científicas brasileiras quanto à normatização, ao emprego de tecnologias e à capacitação em documentação tridimensional; (c) converter os achados do diagnóstico e da literatura em requisitos que orientem a construção das diretrizes; e (d) demonstrar e avaliar preliminarmente as diretrizes propostas mediante aplicação a cenários periciais contrastantes.

O artigo está organizado em seis seções, incluindo esta introdução. A seção 2 apresenta a metodologia; a 3, o referencial teórico; a 4, o diagnóstico institucional; a 5, o desenvolvimento e a avaliação das diretrizes; e a 6, as considerações finais.

2 METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza aplicada, com abordagem predominantemente qualitativa e finalidade exploratório-descritiva (Gil, 2002). A coleta de dados empíricos adotou o diagnóstico documental e institucional, enquanto a construção do artefato – um conjunto de diretrizes para documentação tridimensional – seguiu os princípios da *Design Science Research* (DSR) (Hevner et al., 2004). O modelo processual de Peffers et al. (2007) orientou as seis etapas do trabalho: (i) identificação do problema e motivação, (ii) definição dos objetivos da solução, (iii) projeto e desenvolvimento do artefato, (iv) demonstração, (v) avaliação e (vi) comunicação. Cada etapa produziu uma entrega específica, conforme sintetizado no fluxograma metodológico (Figura 1).

A identificação do problema e dos requisitos iniciais apoiou-se em um diagnóstico em duas frentes: (a) revisão bibliográfica sistemática para mapear o estado da arte, lacunas e parâmetros técnico-normativos; e (b) pesquisa documental e institucional para caracterizar o panorama brasileiro de normatização, tecnologias e capacitação. Os requisitos extraídos foram convertidos em diretrizes (artefato do tipo método, conforme Hevner *et al.*, 2004), que foram demonstradas em cenários periciais contrastantes e avaliadas por argumentação informada, com base em critérios pré-definidos de coerência, conformidade normativa, clareza e viabilidade. A coleta e a análise dos dados seguiram predominantemente a lógica indutiva na identificação de padrões e lacunas (Marconi; Lakatos, 2003), enquanto a construção do artefato empregou raciocínio dedutivo ao derivar requisitos das normas e da literatura.

2.1 Levantamento bibliográfico e documental

A revisão de literatura, conduzida entre junho e julho de 2026, organizou-se em quatro eixos analíticos: (i) tecnologias de documentação 3D e seu desempenho; (ii) metrologia, validade dos dados digitais e cadeia de custódia; (iii) capacidade institucional e gestão da implementação por processos; e (iv) fatores de aceitação tecnológica no setor público. Foram consultadas bases como Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, SciELO e repositórios de *preprints* (arXiv), utilizando-se combinações de descritores em inglês e português com operadores booleanos. As estratégias de busca detalhadas, os critérios de inclusão e exclusão e o fluxo de seleção estão descritos no Apêndice E.

O recorte temporal privilegiou publicações entre 2016 e 2026, admitindo-se obras seminais anteriores (e.g., Davis, 1989; Venkatesh *et al.*, 2003) apenas quando indispensáveis à fundamentação dos modelos de aceitação tecnológica. Após triagem e remoção de duplicatas, consolidou-se um *corpus* de 68 documentos (67 artigos recuperados pela busca sistemática e 1 estudo complementar do autor – Silva; Alcalá; Cukla, 2025), cuja distribuição temática e principais achados são sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Eixos temáticos e distribuição do corpus

Eixo temático	N.º de artigos	Principais tópicos e contribuições
(a) Tecnologias de documentação 3D e desempenho	24	Parâmetros de precisão, custo, tempo e qualidade visual para Fotogrametria, <i>Laser Scanner</i> e <i>3D Gaussian Splatting (3DGS)</i> ; lacunas de validação metrológica para tecnologias emergentes.
(b) Metrologia, validade dos dados digitais e cadeia de custódia	18 + 7 normas	Requisitos das normas ISO/IEC 27037-27043; aplicação dos art. 158-A a 158-F do CPP a evidências digitais; <i>blockchain</i> e integridade de arquivos.
(c) Capacidade institucional e gestão da implementação	18	Modelos de <i>Business Process Management (BPM)</i> na segurança pública (Simão <i>et al.</i> , 2015); barreiras à inovação no setor público

Eixo temático	N.º de artigos	Principais tópicos e contribuições
		(Castro <i>et al.</i> , 2017); KPIs para laboratórios forenses (Speaker, 2009).
(d) Aceitação tecnológica no setor público	12	TAM, UTAUT, DOI (Rogers, 2003; Venkatesh <i>et al.</i> , 2003); adaptações para contextos análogos (saúde, governo eletrônico).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A análise temática extraiu de cada eixo os requisitos e parâmetros que fundamentam as diretrizes, enquanto as lacunas identificadas – como a ausência de estudos de *BPM* aplicados ao *pipeline* de documentação 3D e a inexistência de validação metrológica para o *3DGS* no contexto forense – justificam a contribuição original do trabalho.

2.2 Pesquisa documental e normativa

A pesquisa documental analisou os marcos legais e normativos pertinentes: Código de Processo Penal (arts. 158-A a 158-F), Leis nº 12.030/2009 e nº 14.129/2021, e as normas ISO/IEC 17025:2017 (requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio, utilizada como referência metrológica), ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013, ISO/IEC 27041:2015, ISO/IEC 27042:2015 e ISO/IEC 27043:2015. A análise foi guiada por categorias pré-definidas: (a) requisitos para identificação, coleta e preservação de evidência digital; (b) procedimentos de garantia da qualidade e validação de métodos; e (c) princípios de gestão por processos e governança digital. Essas categorias foram convertidas em requisitos normativos que orientaram a construção das diretrizes D2 (protocolo) e D3 (cadeia de custódia).

2.3 Diagnóstico institucional via Lei de Acesso à Informação

Em 30 de junho de 2026, foram encaminhadas solicitações idênticas, com base na Lei nº 12.527/2011, às 26 Polícias Científicas estaduais, à Polícia Científica do Distrito Federal e à Polícia Federal - total de 28 (vinte e oito) entes. O instrumento da LAI (Apêndice A) indagava sobre a existência de protocolos, normativos ou documentos equivalentes que disciplinassem o uso de tecnologias de reconstrução tridimensional para documentação de locais de crime, e, em caso afirmativo, solicitava o envio do documento. As respostas, obtidas até 24 de julho de 2026, foram sistematizadas em matriz (Apêndice B) e analisadas qualitativamente, conforme descrito na seção 4.

Os dados foram sistematizados em uma matriz de respostas (Apêndice B) que registra, para cada ente, o protocolo LAI, o status e o conteúdo da resposta. A categorização das instituições considerou as dimensões de normatização, tecnologia, capacitação e infraestrutura, originando os perfis discutidos na seção 4.

2.4 Posição do pesquisador e contextualização da experiência profissional

O autor é perito criminal da Polícia Científica de Goiás e, desde março de 2025, cursa mestrado profissional em engenharia de produção com foco em tecnologias de reconstrução 3D aplicadas a locais de crime. Ao longo de 2023 e 2024, realizou testes com fotogrametria em local real e simulado; desde junho de 2025, tem aplicado, de forma assistemática, o *3D Gaussian Splatting* em locais de crime no Posto Avançado de Polícia Científica de Caldas Novas e em levantamentos com drone. Essas atividades, embora não tenham sido registradas em diário de campo estruturado, conferem ao pesquisador proximidade empírica com os desafios operacionais e decisórios da adoção de tecnologias 3D em contextos periciais, atuando como elemento de contextualização e reflexividade, e não como fonte primária de dados.

Essa proximidade com o objeto de estudo, embora confira profundidade contextual, também introduz o risco de viés de confirmação e de valoração excessiva das experiências pessoais. Para contrabalançar essa influência, a pesquisa adotou três estratégias de rigor: (i) triangulação de fontes, combinando dados primários (LAI) com extensa revisão de literatura e análise normativa; (ii) critérios de avaliação predefinidos (Quadro 2), aplicados de forma sistemática às diretrizes; e (iii) explicitação das limitações ao longo do texto, especialmente quanto à abrangência do diagnóstico e ao estágio de validação do artefato. Ademais, a experiência do pesquisador foi utilizada como elemento de contextualização e reflexividade, e não como dado empírico primário, evitando-se generalizações a partir de casos isolados.

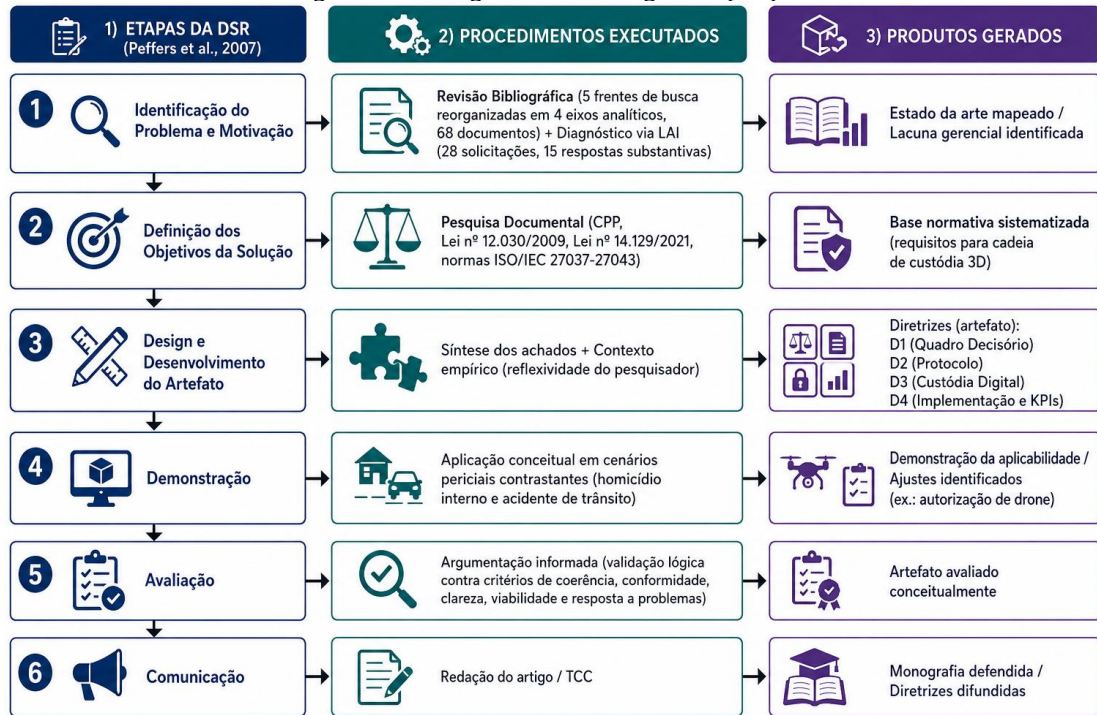
2.5 Construção, demonstração e avaliação do artefato

A construção das diretrizes seguiu a sequência: (i) extração de requisitos a partir do diagnóstico e das normas; (ii) conversão desses requisitos em um artefato do tipo método, organizado segundo o ciclo de gestão por processos (BPM) – Diretriz 1 (quadro decisório), Diretriz 2 (protocolo genérico), Diretriz 3 (cadeia de custódia) e Diretriz 4 (implementação e monitoramento); (iii) demonstração da aplicabilidade em dois cenários periciais contrastantes (homicídio em ambiente interno e acidente de trânsito em via pública); e (iv) avaliação preliminar conduzida pelo próprio pesquisador por meio de argumentação informada (Hevner et al., 2004). O encadeamento dessas etapas está representado no fluxograma metodológico (Figura 1), que ilustra visualmente a lógica da Design Science Research adotada.

Os critérios de avaliação, definidos *a priori* com base na literatura e nas normas, estão sistematizados no Quadro 2. A avaliação aqui conduzida constitui uma autoavaliação de natureza argumentativa – adequada para artefatos em estágio propositivo, conforme Hevner et

al. (2004) –, e seus resultados devem ser interpretados como indicativos da coerência interna do artefato. A validação por especialistas e a aplicação-piloto em unidades periciais reais constituem etapas posteriores, recomendadas nas considerações finais, e são necessárias para a aferição plena da efetividade das diretrizes.

Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Quadro 2 – Critérios de avaliação preliminar das diretrizes

Critério	Descrição	Evidência / Fonte
Coerência técnica	As recomendações estão alinhadas ao estado da arte das tecnologias 3D e aos parâmetros de desempenho reportados na literatura.	Revisão bibliográfica (Fukuda <i>et al.</i> , 2026; Tabela 1)
Conformidade normativa	As diretrizes atendem aos requisitos da cadeia de custódia (CPP) e das normas ISO/IEC 27037-27043.	Análise documental e normativa
Clareza e completude	As diretrizes são redigidas de forma objetiva e cobrem todas as etapas críticas do processo (captura, processamento, validação, armazenamento, laudo).	Estrutura do protocolo e <i>checklist</i> (Apêndice)
Viabilidade operacional	As recomendações são exequíveis com recursos disponíveis ou de baixo custo, conforme o diagnóstico da LAI.	Respostas da LAI; demonstração nos Cenários A e B
Resposta aos problemas diagnosticados	Cada diretriz endereça ao menos uma lacuna identificada no diagnóstico (fragmentação, ausência de critérios, capacitação insuficiente, etc.).	Quadro de requisitos (Apêndice C)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Em síntese, a combinação de revisão bibliográfica sistemática, análise normativa, diagnóstico empírico via LAI e contextualização da experiência profissional forneceu os insumos para a extração de requisitos que orientaram a construção do artefato. A adoção da *Design Science Research* como eixo metodológico assegurou que cada etapa – da identificação

do problema à avaliação preliminar – gerasse um produto verificável, culminando nas quatro diretrizes apresentadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção consolida a fundamentação teórica em três dimensões que orientam a construção das diretrizes: (i) as tecnologias de documentação 3D e sua adequação às finalidades periciais; (ii) a validade metrológica e a cadeia de custódia dos dados digitais; e (iii) a capacidade institucional e a gestão da implementação por processos. A articulação dessas dimensões é necessária porque a adoção de qualquer tecnologia de documentação tridimensional envolve, simultaneamente, escolhas de engenharia, requisitos jurídicos e condicionantes organizacionais.

3.1 Tecnologias de documentação 3D e adequação à finalidade pericial

A transição do registro fotográfico bidimensional para a documentação 3D implica a reconfiguração de fluxos de trabalho, a exigência de novas competências técnicas e a adoção de mecanismos de garantia da qualidade (Maneli; Isafiade, 2022; Zappalà *et al.*, 2024). A questão central não é eleger a “melhor” tecnologia, mas identificar aquela cujo perfil melhor se ajusta às demandas de cada cena: a finalidade do exame (prova métrica ou comunicação visual), a tolerância de erro admissível, as condições do ambiente, o tempo disponível para captura e liberação, e os recursos humanos e materiais existentes (Fukuda *et al.*, 2026).

Três tecnologias apresentam maturidade ou potencial suficientes para integrar as diretrizes operacionais: Fotogrametria Digital, Escaneamento a Laser Terrestre (LiDAR) e *3D Gaussian Splatting* (3DGS).

A Fotogrametria Digital baseia-se em múltiplas fotografias sobrepostas processadas por algoritmos fotogramétricos (*Structure from Motion/Multi View Stereo*), gerando nuvens de pontos e malhas texturizadas. Destaca-se pelo baixo custo de hardware e flexibilidade, podendo alcançar precisão submilimétrica em condições controladas, embora a acurácia dependa da qualidade das imagens e da expertise do operador (Daneshmand *et al.*, 2018; Carew; Morgan; Rando, 2019).

O *Laser Scanner* Terrestre (LiDAR) emprega pulsos luminosos para gerar nuvens de pontos com coordenadas absolutas, oferecendo acurácia milimétrica e independência de iluminação. É indicado para cenas que demandam alta exatidão métrica – trajetórias balísticas, padrões de mancha de sangue, acidentes de trânsito com vítimas fatais (Dustin; Liscio, 2016;

Hołowko *et al.*, 2016). O investimento inicial elevado torna sua aquisição mais justificável para unidades com volume médio a alto de ocorrências, desde que acompanhada de protocolos de uso (Tredinnick; Smith; Ponto, 2019).

O *3D Gaussian Splatting (3DGS)* é uma técnica de síntese de novas vistas que, a partir de fotografias, treina um modelo capaz de renderizar a cena em tempo real com elevado fotorrealismo (Kerbl *et al.*, 2023). Sua escala é intrinsecamente relativa, e a validação metrológica para fins forenses é incipiente (Cho; Woo, 2026). Por essas razões, o *3DGS* é recomendado como tecnologia complementar de comunicação visual, mantendo-se fotografias originais e nuvens de pontos como base para as medições periciais.

Tecnologias como *NeRF (Neural Radiance Fields)* e sensores *RGB-D (Red, Green, Blue and Depth)* foram consideradas, porém carecem atualmente de validação métrica robusta ou apresentam erros significativos em condições típicas de cena de crime, permanecendo como objeto de monitoramento tecnológico (Maneli; Isafiade, 2023; Fukuda *et al.*, 2026).

A Tabela 1 sintetiza os perfis comparativos das três tecnologias selecionadas nas dimensões relevantes para a decisão gerencial.

Tabela 1 - Perfis comparativos das tecnologias de reconstrução 3D

Dimensão	Fotogrametria Digital	Laser Scanner (LiDAR)	3D Gaussian Splatting
Precisão típica (mm)	0,1 – 10	1 – 5	Não validada metricamente ²
Custo direto de equipamento e licenças (USD) ¹	0 – 5.000	30.000 – 80.000	0 – 2.000 (hardware de captura)
Tempo de captura (min/100 m ²)	15 – 30	20 – 60	2 – 5 (vídeo) / 15 – 30 (fotografias)
Tempo de processamento	Elevado (horas a dias)	Moderado (minutos a poucas horas)	Moderado (minutos a poucas horas)
Curva de aprendizado	Média a Alta (dependendo do software)	Baixa	Alta
Nível de evidência disponível ³	Alta (validada)	Alta (validada)	Incipiente (uso visual)

Fontes: Elaborada pelo autor com base em Daneshmand *et al.* (2018); Dustin e Liscio (2016); Tredinnick, Smith e Ponto (2019); Fukuda *et al.* (2026); Silva, Alcalá e Cukla (2025); Kerbl *et al.* (2023).

Notas:

1. Valores referem-se ao investimento inicial em hardware e licenças, tomando-se como referência um cenário de implantação a partir do zero. O valor mínimo (0) indica que, quando a unidade já dispõe de câmera fotográfica e computador com desempenho compatível com os procedimentos rotineiros de documentação de local de crime – conforme parâmetros estabelecidos no POP SENASP Perícia Criminal 2024 (BRASIL, 2024) –, e utiliza softwares livres, não há desembolso adicional nessa rubrica. Custos operacionais (tempo de processamento, armazenamento, capacitação etc.) não estão contabilizados e podem ser significativos; sua estimativa depende da escala de uso e constitui objeto de estudos complementares.

2. Estudo recente de Cho e Woo (2026) reportou erros médios de 1,7-3,6 mm em reconstrução de cena de crime com *3DGS* controlado, mas a validação metrológica em condições forenses ainda não está consolidada.

3. Classificação do nível de evidência disponível baseada na quantidade e qualidade de publicações revisadas por pares, validações métricas específicas e na existência de protocolos institucionais documentados. “Alta (validada)” indica ampla evidência experimental e uso consolidado em rotinas forenses; “Incipiente (uso visual)” indica estudos iniciais, ausência de validação metrológica robusta e recomendação restrita a finalidades ilustrativas.

3.2 Metrologia, validade dos dados digitais e cadeia de custódia

A produção da prova pericial com documentação 3D insere-se em um contexto em que a qualidade do dado digital é tão relevante quanto a do vestígio material. Conceitos metrológicos – acurácia, precisão, repetibilidade, erro e incerteza³ –, tradicionalmente aplicados a laboratórios de ensaio (ISO/IEC 17025:2017), são igualmente pertinentes à documentação tridimensional, pois as medições extraídas de nuvens de pontos e malhas fundamentarão conclusões periciais. Nesse sentido, a validação do método de captura e processamento, a calibração dos instrumentos e a definição de tolerâncias de erro são pré-requisitos para que o modelo 3D possa ser tratado como evidência métrica (Poltronieri *et al.*, 2025).

A cadeia de custódia constitui o mecanismo jurídico-processual que assegura integridade, autenticidade e rastreabilidade da prova. No Brasil, a Lei nº 13.964/2019 introduziu os arts. 158-A a 158-F no CPP, aplicáveis integralmente à documentação 3D. A multiplicidade de transformações digitais (alinhamento, *meshing*, texturização, treinamento de modelos derivados) impõe o desafio adicional de demonstrar que cada operação preservou a integridade dos dados e que o laudo discrimina claramente os arquivos originais (evidência primária) dos modelos processados e das representações ilustrativas derivadas (Vecchio; Beck, 2025; Zerbo *et al.*, 2022).

As normas internacionais complementam esse arcabouço. A ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013 estabelece diretrizes para identificação, coleta, aquisição e preservação de evidência digital. As normas ISO/IEC 27041:2015, 27042:2015 e 27043:2015 fornecem requisitos para validação de métodos, análise, interpretação e gestão de incidentes, cujos princípios foram adaptados para compor a Diretriz 3. Embora já aplicadas em domínios como fraudes eletrônicas e ambientes de nuvem (Alawi; Riadi; Sunardi, 2025; Makura *et al.*, 2021), sua transposição para o fluxo de documentação tridimensional pericial constitui uma lacuna que este trabalho pretende ajudar a preencher.

³ Neste trabalho, adotam-se os seguintes sentidos metrológicos: “acurácia” (ou exatidão) é a proximidade entre o valor medido e o valor de referência; “precisão” é a concordância entre medições repetidas do mesmo mensurando; “repetibilidade” é a precisão sob condições idênticas (mesmo operador, instrumento, local); “erro” é a diferença entre o valor medido e o valor de referência; “incerteza” é o intervalo no qual se espera que o valor verdadeiro esteja contido, com determinado nível de confiança. Adicionalmente, “calibração” é a operação que estabelece a relação entre os valores indicados por um instrumento e os valores conhecidos de um padrão; “rastreabilidade metrológica” é a propriedade que permite referenciar o resultado a um padrão por meio de uma cadeia documentada de calibrações; “validação do método” consiste na demonstração documentada de que o procedimento é adequado à finalidade; e “verificação” é a confirmação, no caso concreto, de que o produto atende à tolerância especificada.

3.3 Capacidade institucional e gestão da implementação por processos

A efetividade de qualquer diretriz técnica depende da capacidade da organização de absorvê-la. A gestão por processos (*BPM*) oferece uma abordagem que orienta o trabalho pelo fluxo de ponta a ponta, transformando locais de crime em laudos periciais com etapas definidas e responsáveis identificados (Pereira, 2016). Experiências na Polícia Federal demonstraram a viabilidade do *BPM* em segurança pública, com ganhos de transparência e padronização (Simão *et al.*, 2015).

Modelos de aceitação tecnológica – TAM e UTAUT – indicam que utilidade percebida, facilidade de uso e condições facilitadoras são determinantes para a adoção (Venkatesh *et al.*, 2003). No setor público brasileiro, barreiras como resistência cultural e déficit de capacitação técnica são recorrentes (Castro *et al.*, 2017), e a difusão de inovações é favorecida quando a tecnologia é percebida como compatível com as práticas existentes e de baixa complexidade (Rogers, 2003). Essas referências iluminam o diagnóstico e fundamentam a Diretriz 4: a constatação de capacitação restrita ao fabricante, a ausência de infraestrutura de armazenamento e a falta de indicadores de desempenho são exemplos de condições facilitadoras insuficientes, as quais as diretrizes buscam endereçar por meio de um programa de capacitação modular, requisitos mínimos de infraestrutura e KPIs.

A infraestrutura computacional e a preservação digital de longo prazo constituem componentes críticos. Modelos 3D geram dezenas de gigabytes por ocorrência, exigindo armazenamento escalável, backup e formatos abertos que garantam legibilidade futura (Grispos; Storer; Glisson, 2012). A Lei nº 14.129/2021 (Governo Digital) fornece o marco legal para digitalização e interoperabilidade, reforçando a necessidade de sistemas integrados – lacuna evidenciada no diagnóstico a seguir.

4 DIAGNÓSTICO NO CONTEXTO BRASILEIRO

Esta seção apresenta o panorama empírico da documentação tridimensional nas polícias científicas brasileiras, obtido por meio da coleta de dados via Lei de Acesso à Informação. Os resultados são contextualizados com a literatura e organizados de modo a evidenciar os gargalos que as diretrizes (seção 5) devem suprir.

Das 28 (vinte e oito) solicitações encaminhadas às unidades federativas e à Polícia Federal entre 30 de junho e 07 de julho de 2026, 14 (quatorze) resultaram em respostas com conteúdo substantivo; as demais foram inacessíveis, não substantivas ou permaneceram sem retorno até a data de corte (Apêndice B). Embora a amostra não seja probabilística – o que

impede generalizações estatísticas –, o conjunto de respondentes reúne instituições das cinco regiões do país e abrange desde unidades com equipamentos e protocolos até aquelas que não iniciaram qualquer normatização, conferindo representatividade qualitativa ao diagnóstico.

O Quadro 3 sintetiza, para as instituições que forneceram informações substantivas, a situação quanto a protocolos, tecnologias empregadas e capacitação. Os perfis foram construídos a partir de quatro dimensões objetivas – normatização, tecnologia, capacitação e infraestrutura.

Quadro 3 – Panorama da documentação tridimensional nas polícias científicas respondentes (2026)

UF	Normatização (protocolo formal)	Tecnologia em uso (marca/modelo)	Capacitação reportada	Infraestrutura mencionada	Planos ou justificativas
RJ	Sim – ITC 5.3.1 N09 (Abr/2023)	<i>Laser Scanner</i> – Trimble X7 (7 unid.). Softwares: RealWorks, Forensics Reveal	Não informado	Não mencionada	–
SC	Sim – 9 POPs + Ordem de Serviço (Versão 1.1, 2025)	<i>Laser Scanner</i> ; drones	Prevista nos POPs (“equipe com capacitação”)	Não mencionada	–
BA	Em elaboração	<i>Laser Scanner</i> – Trimble X7	Sim (fabricante)	Não mencionada	Procedimento em elaboração
CE	Não	Scanner a laser (marca não informada)	Sim (continuado)	Local, sem central de vestígios em nuvem	–
MA	Não	<i>Laser Scanner</i> – Trimble X9 (3 unid.)	Sim (fabricante Santiago & Cintra)	Não mencionada	Uso baseado em orientações do fabricante
MG	Não	“Equipamento destinado à reconstrução 3D” (marca e modelo não informados)	Não informado	Não mencionada	Uso restrito a poucos operadores
MS	Não	<i>Laser Scanner</i> – Trimble X7	Não informado	Servidor local + backup em nuvem contratada	–
AL	Em elaboração	Nenhuma	Não informado	Não mencionada	Processo de aquisição em andamento
União (PF)	Em elaboração	Não informado	Não informado	Não mencionada	Fase de estudos e elaboração normativa; acesso restrito
AM	Não (adota POPs SENASP)	Nenhuma informada	Não informado	Não mencionada	–
GO	Não	Nenhuma informada	Não informado	Não mencionada	–
RO	Não	Nenhuma informada	Não informado	Não mencionada	–
RS	Não	Nenhuma informada	Não informado	Não mencionada	–
SP	Não	Nenhuma informada	Não informado	Não mencionada	–

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Notas ao Quadro 3:

- O quadro relaciona exclusivamente os entes federativos cujas respostas à Lei de Acesso à Informação (Apêndice B) continham informações suficientes para classificação nas dimensões analisadas. Respostas inacessíveis (AP, PB), declinação de competência (PI), dilação de prazo (PCDF) ou ausência de retorno (AC, ES, MT, PA, PE, PR, RN, RR, SE, TO) não permitiram a extração confiável de dados, razão pela qual não compõem o Quadro 3; seu registro encontra-se no Apêndice B.
- O instrumento de coleta (Apêndice A) indagou exclusivamente sobre a existência de protocolos formais. Informações acerca de equipamentos, capacitação, infraestrutura de armazenamento e planos institucionais

emergiram de modo espontâneo nas respostas e nos documentos anexados. Por essa razão, a ausência de menção a qualquer desses aspectos por parte de uma instituição não autoriza inferir sua inexistência.

3. As marcas, modelos e softwares citados na coluna “Tecnologia em uso” correspondem unicamente ao que foi voluntariamente comunicado pelos respondentes, não configurando inventário exaustivo do parque tecnológico de cada instituição.

4. Os documentos normativos encaminhados por Santa Catarina e Rio de Janeiro – a título de exemplo, a exigência de varredura em pelo menos três pontos distintos e o registro mais denso em áreas com vestígios relevantes (POPs de SC), bem como a recomendação de distância entre estações de aproximadamente 20 m para garantir registro eficaz (ITC 5.3.1 N09/RJ) – ilustram critérios operacionais já institucionalizados, os quais dialogam com o protocolo proposto na Diretriz 2 deste trabalho.

A leitura do Quadro 3, complementada pelos dados do Apêndice B, evidencia três traços do panorama atual. O primeiro é a heterogeneidade normativa e operacional: apenas dois estados, dentre os respondentes, possuem protocolos formalizados; outros cinco adquiriram scanners a laser sem concluir a normatização; cinco declararam não dispor de normativos nem equipamentos; e duas unidades (Alagoas e Polícia Federal) relataram processos de normatização ou aquisição em andamento. Esse quadro é compatível com a fragmentação apontada na literatura (Pinto *et al.*, 2020), mas os dados não permitem atribuí-la exclusivamente à ausência de coordenação federativa, uma vez que fatores como porte, demanda e prioridades orçamentárias também concorrem para esse resultado. O segundo é a concentração regional dos recursos no Sudeste, Sul e parte do Nordeste, enquanto as regiões Norte e Centro-Oeste figuram entre os que não dispõem de protocolos nem tecnologias, embora a ausência de resposta de dez entes impeça uma caracterização conclusiva. O terceiro é a precedência da aquisição sobre a normatização: nos cinco estados que possuem equipamentos sem protocolo, o investimento em *Laser Scanner* antecedeu a definição de procedimentos padronizados, sugerindo que a decisão foi orientada pela disponibilidade orçamentária mais do que por análise de requisitos técnicos e gerenciais (Tredinnick; Smith; Ponto, 2019).

Os dados revelam ainda gargalos de infraestrutura, capacitação e investimento. Apenas Ceará e Mato Grosso do Sul mencionaram espontaneamente aspectos de infraestrutura de armazenamento – o primeiro declarou não dispor de central de vestígios em nuvem e manter os dados localmente; o segundo informou utilizar servidor local com backup em nuvem contratada. Como o instrumento de coleta não indagava diretamente sobre infraestrutura, esses relatos não permitem afirmar a existência de soluções equivalentes nos demais órgãos, nem autorizam inferências sobre a atenção institucional que o tema recebe. Os dados disponíveis limitam-se, portanto, a essas duas manifestações. A capacitação informada variou: Bahia e Maranhão reportaram treinamento do fabricante; Ceará mencionou capacitação continuada; as demais instituições com equipamentos (Minas Gerais, Mato Grosso do Sul) não forneceram detalhes sobre capacitação. Em nenhum caso foram mencionados fundamentos metrológicos ou gerenciais, lacuna que os modelos de aceitação tecnológica apontam como barreira à adoção

efetiva (Venkatesh *et al.*, 2003). Por fim, o investimento concentra-se quase exclusivamente no *Laser Scanner*, sem que a Fotogrametria Digital – alternativa de baixo custo, viável com câmera DSLR e softwares livres – tenha sido mencionada como objeto de normatização ou uso sistemático por nenhuma instituição respondente.

Em síntese, o diagnóstico revela um campo em estágio inicial de institucionalização, marcado por heterogeneidade, concentração de recursos e lacunas de planejamento que afetam a capacidade de absorção tecnológica. Essas constatações foram convertidas em requisitos para as diretrizes, conforme o Quadro de Requisitos (Apêndice C). A seção seguinte descreve a construção do artefato e sua aplicação a cenários periciais.

5 DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DIRETRIZES

Esta seção apresenta o processo de construção das diretrizes, sua estrutura e uma demonstração preliminar de aplicabilidade em cenários periciais contrastantes. O detalhamento operacional completo – quadros decisórios, *checklists* e indicadores – integra o Apêndice, mantendo-se no corpo do artigo a fundamentação e a síntese do artefato, em atendimento às recomendações metodológicas da *Design Science Research* (Hevner *et al.*, 2004).

5.1 Requisitos do artefato

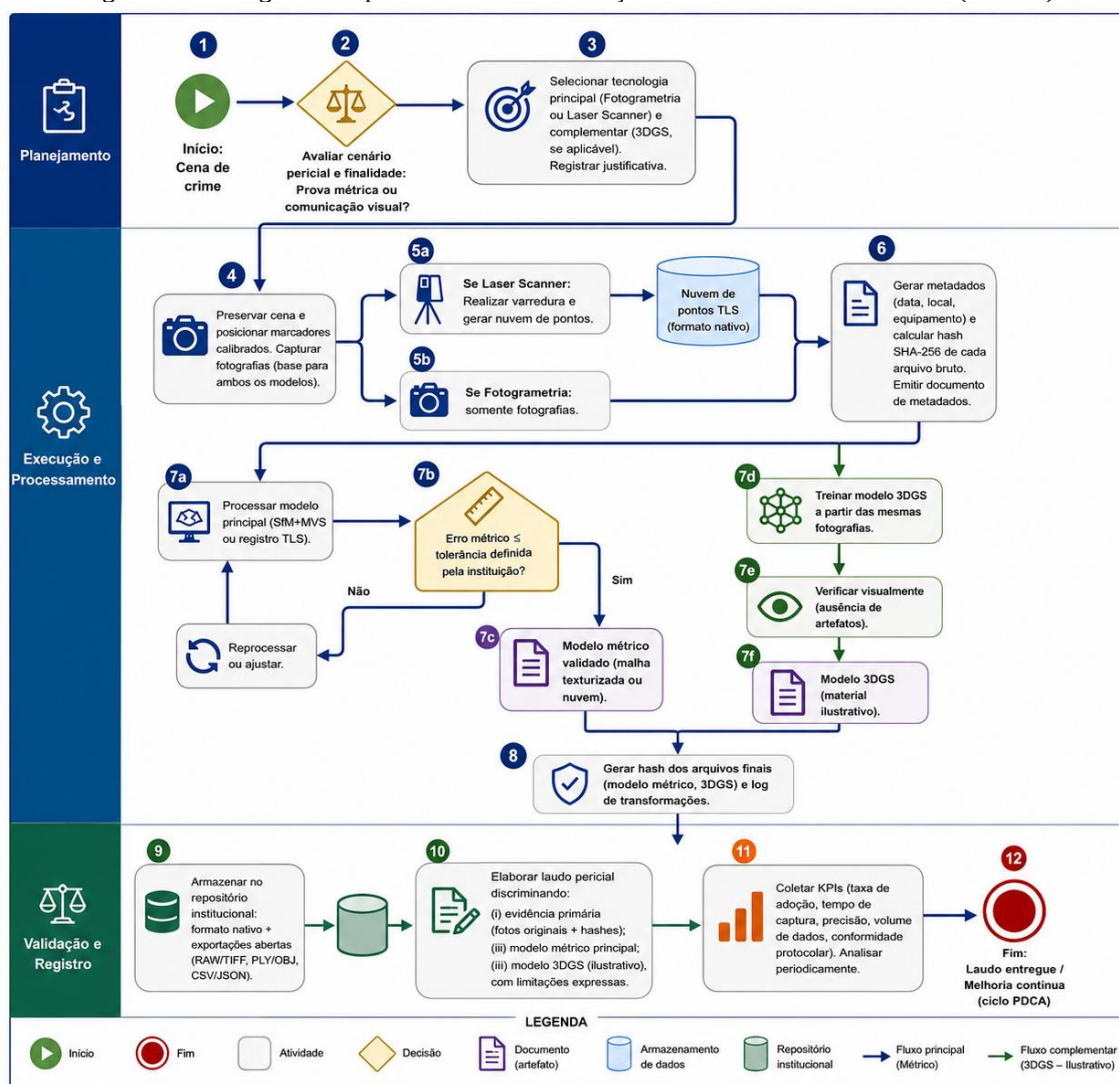
O diagnóstico da seção 4 e a análise normativa realizada na seção 3 foram convertidos em requisitos que direcionaram a elaboração das diretrizes. O Quadro de Requisitos (Apêndice C) sistematiza essa rastreabilidade, evidenciando três eixos de intervenção: (i) padronização da decisão e do processo – a ausência de critérios de escolha tecnológica e a falta de protocolos conduziram ao quadro decisório (Diretriz 1) e ao *checklist* padronizado (Diretriz 2); (ii) segurança jurídica e preservação digital – a inadaptação da cadeia de custódia aos dados 3D e a carência de infraestrutura de armazenamento motivaram os requisitos de rastreabilidade e armazenamento institucional (Diretriz 3); e (iii) desenvolvimento institucional – a capacitação restrita, a ausência de indicadores e os fatores de aceitação tecnológica embasaram o plano de capacitação por competências e os KPIs (Diretriz 4). Dessa forma, cada componente do artefato possui lastro nos achados empíricos e normativos, assegurando alinhamento ao diagnóstico.

5.2 Estrutura das diretrizes

As diretrizes reconfiguram o fluxo da documentação tridimensional, substituindo decisões assistemáticas por etapas estruturadas de planejamento, execução, preservação e

monitoramento, conforme o ciclo de gestão por processos (BPM). A Figura 2 ilustra o processo redesenhado (TO-BE), com a distinção entre os fluxos de prova métrica e comunicação visual e os pontos de registro de metadados, *hashes* e validação métrica.

Figura 2 – Fluxograma do processo de documentação tridimensional redesenhado (TO-BE).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A partir desse fluxo, desdobram-se as quatro diretrizes a seguir, que detalham cada etapa e seus requisitos operacionais.

Diretriz 1 – A escolha da tecnologia de documentação 3D não é determinada pelo tipo de crime, mas por um conjunto de critérios que refletem as necessidades do exame pericial: finalidade do registro (prova métrica ou comunicação visual), tolerância de erro admissível, dimensão e complexidade da cena, condições de iluminação, tempo disponível para captura e liberação, infraestrutura de processamento e armazenamento, competência da equipe e segurança do perito. A matriz de decisão completa, que cruza esses critérios com as tecnologias recomendadas e respectivas limitações, encontra-se no Apêndice D (Bloco 2).

De forma sintética, as relações centrais podem ser assim descritas. Quando a tolerância de erro exigida é igual ou inferior a 5 milímetros e a cena é interna e controlada, o *Laser Scanner* Terrestre constitui a base métrica mais adequada, podendo ser complementado pelo *3D Gaussian Splatting (3DGS)* para fins de comunicação visual. Se a tolerância se situa entre 5 e 30 milímetros ou a cena é extensa, a Fotogrametria Digital – terrestre ou aérea com drone – oferece a melhor relação entre custo, rapidez e acurácia, igualmente acompanhada do *3DGS* como camada ilustrativa. Em condições de iluminação precária, o *Laser Scanner* é preferível por independe de luz ambiente. Quando o tempo de liberação da cena é crítico, recomenda-se a captura rápida por fotogrametria simplificada (câmera ou smartphone), com posterior processamento e a devida ressalva das limitações no laudo. Nas situações em que a infraestrutura computacional é limitada – sem *GPU (Graphics Processing Unit)* ou com armazenamento restrito –, deve-se priorizar tecnologias consolidadas (Fotogrametria básica ou *Laser Scanner*) e, se necessário, contratar serviço especializado; o uso do *3DGS* fica condicionado à disponibilidade dos recursos de processamento. Por fim, se a segurança do perito estiver em risco (estruturas instáveis, presença de produtos perigosos), a documentação deve ser realizada remotamente, com drone ou câmera em vara, dispensando o ingresso físico na área de perigo.

O Bloco 2 do Apêndice D contém uma matriz de decisão baseada nesses critérios e um conjunto de cenários exemplificativos – homicídio em ambiente interno, acidente de trânsito, incêndio e desabamento – que ilustram sua aplicação, sem configurar prescrição automática por tipo penal; a decisão final, devidamente justificada no laudo, permanece sob responsabilidade do perito.

Diretriz 2 – Protocolo genérico de documentação 3D. O protocolo estabelece uma sequência padronizada que cobre desde a avaliação prévia da cena até o registro em laudo, passando pela preservação, captura, processamento, validação métrica e geração de *hashes*. O *checklist* operacional (Apêndice D, Bloco 3) detalha as nove etapas, dentre as quais se destacam: o cálculo do *hash* SHA-256 dos arquivos brutos imediatamente após a captura, operação que constitui o núcleo da cadeia de custódia digital; a validação métrica do modelo principal contra marcadores calibrados, com tolerâncias definidas institucionalmente conforme a finalidade pericial; e a discriminação, no laudo, das três categorias de arquivos – evidência primária (fotografias e nuvens brutas), modelo métrico e modelo ilustrativo derivado (*3DGS*).

Diretriz 3 – Cadeia de custódia e preservação digital. Os requisitos dos arts. 158-A a 158-F do CPP e das normas ISO/IEC 27037-27043 foram traduzidos em três exigências operacionais: registro cronológico de todas as transformações digitais (alinhamento, *meshing*,

texturização, treinamento do *3DGS*) em *log* imutável; identificação inequívoca, no laudo, dos arquivos originais (evidência primária) e dos produtos derivados; e armazenamento em repositório institucional com controle de acesso, auditoria e preservação em formatos nativos e abertos, sem que a conversão substitua os originais. Reconhecendo-se a natureza estocástica e dependente de software das tecnologias emergentes de síntese de vistas, a Diretriz 3 estabelece ainda a obrigatoriedade de preservar o ambiente computacional utilizado no treinamento de modelos derivados (versão do software, parâmetros, dependências e especificações de hardware), de modo a assegurar a reprodutibilidade do processo. Esse cuidado é particularmente relevante para o *3D Gaussian Splatting*, cujo resultado pode variar conforme a semente aleatória e a configuração da *GPU*. O detalhamento está no Apêndice D (Bloco 4).

Diretriz 4 – Implementação e monitoramento. A efetividade das diretrizes anteriores depende de condições organizacionais que as sustentem: um programa de capacitação organizado por competências (aquisição, processamento, metrologia, cadeia de custódia e gestão), com níveis progressivos e atualização periódica; infraestrutura de armazenamento dimensionada para os volumes de dados 3D, em consonância com a Lei do Governo Digital; e um conjunto de indicadores de desempenho – taxa de aplicação em cenas elegíveis, tempo de captura, precisão métrica, conformidade protocolar e questionamentos judiciais –, cujas metas devem ser estabelecidas por cada instituição após a coleta de linha de base mínima de seis meses. O ciclo de melhoria contínua (PDCA), com revisão periódica das diretrizes, completa a estrutura de governança. Os quadros de capacitação e KPIs constam no Apêndice D (Blocos 5 e 6).

5.3 Demonstração e avaliação preliminar

Os cenários descritos a seguir são construções hipotéticas baseadas em parâmetros da literatura revisada. Ilustram a aplicação das diretrizes e não correspondem a levantamentos reais.

Cenário A – Homicídio em ambiente interno (sala de $\approx 25 \text{ m}^2$). A análise de trajetórias balísticas e padrões de mancha de sangue exige exatidão milimétrica, o que recomenda o *Laser Scanner Terrestre (TLS)* como tecnologia principal para a prova métrica, com o *3DGS* como complemento visual treinado a partir das fotografias de texturização (Hołowko et al., 2016). A avaliação prévia registra as dimensões, obstáculos, iluminação artificial e a finalidade: prova métrica com tolerância de erro $\leq 5 \text{ mm}$, compatível com o desempenho do *TLS* em ambiente controlado (Dustin; Liscio, 2016; Daneshmand et al., 2018). Marcadores calibrados são posicionados para validação posterior.

A captura emprega um *TLS* de médio alcance em quatro a seis estações, com varreduras de dois a oito minutos cada (Daneshmand et al., 2018; Dustin; Liscio, 2016). Paralelamente, são feitas fotografias de alta resolução com sobreposição superior a 80%. O trabalho de campo estimado é de 30 a 60 minutos. Após o registro, os *hashes* SHA-256 dos arquivos brutos (fotografias e varredura) são calculados e o manifesto de integridade é emitido, conforme o Bloco 4 do Apêndice D. O processamento gera uma nuvem de pontos metricamente rastreável e um modelo *3DGS* fotorrealista, cuja acurácia métrica ainda não foi validada para fins forenses (Malik et al., 2024). O laudo discrimina as fotografias originais e a nuvem de pontos (evidência primária) do modelo *3DGS* (ilustrativo, sem valor métrico autônomo). Os indicadores coletados – tempo de captura, volume de dados, precisão contra os marcadores e tempo de processamento – alimentam a base gerencial para análises de custo-benefício (Tredinnick; Smith; Ponto, 2019).

Cenário B – Acidente de trânsito com vítima fatal (cruzamento de $\approx 200 \text{ m}^2$). A cena extensa e a urgência de liberação orientam a escolha da Fotogrametria Digital aérea com drone como tecnologia principal, e o *3DGS* como complemento visual. A matriz decisória (Apêndice D) indica a fotogrametria aérea para cenas acima de 100 m^2 com tolerância de erro entre 5 e 30 mm (Tabela 1). Após verificar as autorizações de voo (ANATEL, ANAC, DECEA) e as condições meteorológicas, a avaliação prévia define a finalidade: macrovestígios com tolerância de até 30 mm. A distância entre eixos de um veículo serve de referência calibrada.

O plano de voo é configurado para GSD de 1 a 3 mm/pixel, com sobreposições longitudinal e lateral superiores a 75% e 65% (Daneshmand et al., 2018). A captura costuma levar de 10 a 20 minutos, gerando entre 200 e 400 imagens, processadas em dois fluxos: *SfM/MVS*, que produz a nuvem métrica (acurácia típica de 10 a 30 mm; Daneshmand et al., 2018; Fukuda et al., 2026), e *3DGS*, para inspeção visual. O tempo de processamento do *SfM/MVS* pode variar de horas a dezenas de horas; o *3DGS* é geralmente mais rápido, embora dados comparativos para cenas externas extensas sejam escassos.

À semelhança do Cenário A, os *hashes* SHA-256 das imagens brutas são calculados imediatamente, e o laudo distingue as fotografias originais (evidência primária), o modelo *SfM/MVS* (base das medições) e o *3DGS* (material ilustrativo). A acurácia é verificada confrontando a distância entre eixos medida no modelo com o valor de referência. Indicadores como área coberta, tempo de voo, número de imagens, volume de dados, tempo de processamento, precisão alcançada e custo de nuvem (se utilizado) complementam os do Cenário A para análises gerenciais.

Avaliação preliminar. Os cenários foram submetidos aos critérios do Quadro 2. As recomendações mostraram-se coerentes com a literatura e os normativos, operacionalizáveis

com recursos disponíveis e capazes de endereçar as lacunas do diagnóstico. A aplicação teórica do Cenário B revelou a necessidade de incluir no *checklist* a verificação de autorização de voo de drone – ajuste já incorporado ao Apêndice D. A avaliação confirma que as diretrizes oferecem um referencial para orientar a seleção tecnológica, padronizar procedimentos e conferir transparência metodológica à prova pericial, ressaltando-se que a efetividade plena requer aplicação-piloto em unidades reais e validação por painel externo, etapas projetadas para trabalhos futuros.

Quadro 4 – Resultado da avaliação preliminar do artefato

Critério	Evidência	Conclusão	Ajuste identificado
Coerência técnica	As recomendações do Quadro Decisório (Apêndice D, Bloco 2) foram confrontadas com os parâmetros da Tabela 1 e com as faixas de precisão reportadas na literatura para TLS (Dustin; Liscio, 2016) e fotogrametria aérea (Daneshmand et al., 2018; Fukuda et al., 2026).	Atendido: as tecnologias indicadas para cada cenário correspondem às faixas de exatidão e às limitações descritas na literatura.	Faixa de exatidão da fotogrametria aérea foi estendida na Tabela 1 para refletir valores típicos em levantamentos com drone (> 10 mm), diferenciando-a da fotogrametria de curto alcance.
Conformidade normativa	Verificação do <i>checklist</i> (Bloco 3) e dos requisitos de cadeia de custódia (Bloco 4) contra os arts. 158-A a 158-F do CPP e a ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013.	Atendido: todas as exigências de identificação, integridade (<i>hash</i>), rastreabilidade das transformações e armazenamento institucional possuem item correspondente no protocolo.	Incluído o manifesto de integridade como requisito adicional no Bloco 4.
Clareza e completude	Aplicação do <i>checklist</i> (9 etapas) aos Cenários A e B, percorrendo todas as fases desde a avaliação prévia até o registro em laudo.	Atendido parcialmente: o protocolo mostrou-se aplicável, mas a etapa de avaliação prévia não contemplava a definição da finalidade e da tolerância de erro.	Item 1 do <i>checklist</i> foi expandido para incluir “registrar a finalidade (prova métrica e/ou visual) e a tolerância de erro admissível”.
Viabilidade operacional	Cotejo dos recursos exigidos (equipamentos, tempo, infraestrutura) com o diagnóstico organizacional e com os parâmetros de <i>hardware</i> e <i>software</i> disponíveis no mercado, conforme discutido na seção 4 e na literatura de custo-benefício (Tredinnick; Smith; Ponto, 2019).	Atendido: o Cenário B demonstrou que a documentação 3D é viável mesmo com recursos moderados (câmera digital, drone de consumo e processamento em estações de trabalho). O Cenário A (TLS) permanece condicionado a investimento institucional, mas plenamente justificável para crimes de alta complexidade (Tredinnick; Smith; Ponto, 2019).	Incluída nota no Cenário A explicitando que a disponibilidade de Laser Scanner é ilustrativa para fins de demonstração das diretrizes, não um requisito para aplicação do protocolo em si.
Resposta aos problemas diagnosticados	Confronto com o Quadro de Requisitos (Apêndice C): cada problema ou lacuna (ausência de protocolo, capacitação insuficiente, falta de critérios de seleção, infraestrutura precária, ausência de KPIs) foi endereçado por ao menos um componente do artefato.	Atendido: os dez requisitos listados no Apêndice C possuem correspondência direta com as diretrizes D1 a D4.	—

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho partiu da constatação de que a diversidade de tecnologias de documentação tridimensional disponíveis impõe às polícias científicas brasileiras um desafio que transcende a comparação técnica: a ausência de diretrizes institucionais para selecionar, aplicar e preservar esses registros de forma padronizada e juridicamente segura. O problema foi delimitado à documentação de locais de crime e sua gestão institucional, e a pesquisa buscou identificar os requisitos técnicos, jurídicos e gerenciais necessários para orientar sua adoção.

A investigação articulou revisão bibliográfica, análise documental das normas de cadeia de custódia e um diagnóstico empírico via Lei de Acesso à Informação, cujos resultados revelaram um panorama de heterogeneidade institucional: apenas duas unidades da federação dispõem de protocolos formalizados; a capacitação, quando existente, concentra-se no treinamento do fabricante ou em iniciativas ainda isoladas; e a infraestrutura de armazenamento digital mostrou-se incipiente entre as instituições respondentes. Esse quadro, limitado à amostra obtida, configura um diagnóstico exploratório que evidencia lacunas recorrentes de normatização e planejamento.

A partir desses achados, foram construídas quatro diretrizes, abrangendo um quadro decisório por cenário pericial, um protocolo padronizado em nove etapas, requisitos de cadeia de custódia digital e estratégias de implementação e monitoramento (Apêndice D). O artefato incorpora a distinção entre evidência primária (fotografias e nuvens de pontos métricas) e produtos derivados (modelos 3DGS de finalidade ilustrativa) – sistematização proposta que ainda requer avaliação jurídica e técnica complementar, mas que visa preservar a integridade da prova diante da adoção de tecnologias emergentes de fotorrealismo. A demonstração em dois cenários periciais contrastantes ilustrou a aplicabilidade das diretrizes e evidenciou sua coerência com a literatura e com os normativos aplicáveis.

A pesquisa apresenta limitações que devem ser explicitadas. A amostra da LAI é parcial e não probabilística, impedindo generalizações estatísticas. A avaliação das diretrizes restringiu-se à argumentação informada e à demonstração em cenários hipotéticos, sem aplicação-piloto em unidade pericial real ou validação por painel externo de especialistas. A análise de custos operacionais foi limitada pela ausência de dados sistematizados sobre tempos de processamento por profissional e volumes de armazenamento ao longo do ciclo de vida dos casos.

Como desdobramentos futuros, recomenda-se a submissão das diretrizes a um painel de especialistas, a realização de aplicação-piloto em unidades periciais e a condução de estudos

comparativos de acurácia métrica com métricas uniformes. Essas etapas permitirão aferir a efetividade das diretrizes em condições reais, gerar as linhas de base para os indicadores propostos e validar o emprego combinado de tecnologias métricas e de comunicação visual.

Em conjunto, os resultados sugerem que as diretrizes oferecem um referencial para fundamentar investimentos, padronizar procedimentos e conferir transparência metodológica à prova pericial tridimensional. Sua efetividade, contudo, reside na capacidade institucional de traduzi-las em processos contínuos de capacitação, infraestrutura e monitoramento – condições ainda incipientes na maioria das polícias científicas, conforme o diagnóstico evidenciou.

REFERÊNCIAS

ALAWI, H. S.; RIADI, I.; SUNARDI, S. Improving credibility of digital evidence investigation in e-commerce fraud cases using ISO/IEC 27037. **International Journal of Advances in Data and Information Systems**, v. 6, n. 2, p. 479-495, 2025. DOI: <https://doi.org/10.59395/ijadis.v6i2.1408>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013**: Tecnologia da informação – Técnicas de segurança – Diretrizes para identificação, coleta, aquisição e preservação de evidência digital. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS. **BPM CBOK: Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio**. Corpo Comum de Conhecimento. Versão 4.0. [S.l.]: ABPMP, 2020.

BRASIL. Decreto-Lei nº 3.689, de 3 de outubro de 1941. Código de Processo Penal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Rio de Janeiro, 13 out. 1941.

BRASIL. Lei nº 12.030, de 17 de setembro de 2009. Estabelece normas gerais para as perícias oficiais de natureza criminal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 146, n. 180, p. 1, 18 set. 2009.

BRASIL. Lei nº 14.129, de 29 de março de 2021. Dispõe sobre princípios, regras e instrumentos para o Governo Digital e para o aumento da eficiência pública. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 159, n. 60, p. 1, 30 mar. 2021.

CAREW, R. M.; FRENCH, J.; MORGAN, R. M. 3D forensic science: a new field integrating 3D imaging and 3D printing in crime reconstruction. **Forensic Science International: Synergy**, v. 3, 100205, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsisy.2021.100205>.

CAREW, R. M.; FRENCH, J.; MORGAN, R. M. An ethical framework for the creation and use of 3D printed human remains in crime reconstruction. **Forensic Science International: Reports**, v. 7, 100319, p. 1-9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2023.100319>.

CAREW, R. M.; MORGAN, R. M.; RANDO, C. A preliminary investigation into the accuracy of 3D modeling and 3D printing in forensic anthropology evidence reconstruction. **Journal of Forensic Sciences**, v. 64, n. 2, p. 342-352, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13865>.

CASTRO, C. M. S. de et al. Antecedentes de inovações em organizações públicas do poder executivo federal. **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, São Paulo, v. 22, n. 71, p. 126-143, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12660/cgpc.v22n71.63842>.

CHO, S.; WOO, T. Accuracy of three-dimensional Gaussian Splatting for virtual crime scene reconstruction. **Frontiers in Computer Science**, v. 8, 1755361, p. 1-12, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcomp.2026.1755361>.

DANESHMAND, M. et al. 3D scanning: a comprehensive survey. **arXiv preprint**, arXiv:1801.08863, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1801.08863>. Acesso em: 18 jul. 2026.

DUSTIN, D.; LISCIO, E. Accuracy and repeatability of the laser scanner and total station for crime and accident scene documentation. **Journal of the Association for Crime Scene Reconstruction**, v. 20, n. 1, p. 57-67, 2016.

FUKUDA, H. et al. From 3D surface documentation to visualization in forensic practice: a review of current methods and emerging technologies. **APMIS**, Copenhagen, v. 134, n. 4, e70215, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1111/apm.70215>.

GALANAKIS, G. et al. A study of 3D digitisation modalities for crime scene investigation. **Forensic Sciences**, Basel, v. 1, n. 2, p. 56-85, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/forensicsci1020008>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRISPOS, G.; STORER, T.; GLISSON, W. B. Calm before the storm: the challenges of cloud computing in digital forensics. **International Journal of Digital Crime and Forensics**, v. 4, n. 2, p. 28-48, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4018/jdcf.2012040103>.

HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2307/25148625>.

HOŁOWKO, E. et al. Application of multi-resolution 3D techniques in crime scene documentation with bloodstain pattern analysis. **Forensic Science International**, v. 267, p. 218-227, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.08.036>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 17025:2017**: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 27041:2015**: Information technology – Security techniques – Guidance on assuring suitability and adequacy of incident investigative method. Geneva: ISO, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 27042:2015**: Information technology – Security techniques – Guidelines for the analysis and interpretation of digital evidence. Geneva: ISO, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 27043:2015**: Information technology – Security techniques – Incident investigation principles and processes. Geneva: ISO, 2015.

IRITANI, D. R. et al. Análise sobre os conceitos e práticas de Gestão por Processos: revisão sistemática e bibliometria. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 164-180, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1668-14>.

KERBL, B. et al. 3D Gaussian Splatting for real-time radiance field rendering. **ACM Transactions on Graphics**, v. 42, n. 4, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1145/3592433>.

MAKURA, S. M. et al. Digital forensic readiness in operational cloud leveraging ISO/IEC 27043 guidelines on security monitoring. **Security and Privacy**, v. 4, n. 5, e173, p. 1-14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/spy2.173>.

MALIK, S. N.; CHEE, M. H.; PERERA, D. M. A.; LIM, C. H. Feasibility of Neural Radiance Fields for crime scene video reconstruction. **arXiv preprint**, arXiv:2407.08795, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2407.08795>. Acesso em: 18 jul. 2026.

MANELI, M. A.; ISAFIADE, O. E. 3D forensic crime scene reconstruction involving immersive technology: a systematic literature review. **IEEE Access**, v. 10, p. 88821-88857, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3199437>.

- MANELI, M. A.; ISAFIADE, O. E. Exploration of 3D augmented reality solution for crime scene investigators in low-resource settings. In: SOUTHERN AFRICA TELECOMMUNICATION NETWORKS AND APPLICATIONS CONFERENCE (SATNAC), 2023, Drakensberg. **Proceedings [...]**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1-6.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- NATH, S.; SUMMERS, K.; BAEK, J.; AHN, G.-J. Digital evidence chain of custody: navigating new realities of digital forensics. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRUST, PRIVACY AND SECURITY IN INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS (TPS-ISA), 6., 2024, Washington, DC. **Proceedings [...]**. IEEE, 2024. p. 11-20. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPS-ISA62245.2024.00012>.
- NEUTEBOOM, W. et al. Quality management in forensic science: a closer inspection. **Forensic Science International**, v. 358, 111779, p. 1-9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111779>.
- PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>.
- PEREIRA, N. A. (org.). **Gestão por Processos**. São Carlos: Pixel, 2016.
- PINTO, P. H. V.; COSTA, P. B.; FRANCO, A.; SILVA, R. H. A. Perícia oficial de natureza criminal: panorama nacional após dez anos de promulgação da Lei nº 12.030/2009. **Revista Brasileira de Odontologia Legal**, v. 7, n. 1, p. 20-26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21117/rbol-v7n12020-267>.
- POLTRONIERI, C. F. et al. Implementation of ISO/IEC 17025 in forensic genetics laboratories. **Forensic Science International**, v. 371, 112489, p. 1-8, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112489>.
- ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 5. ed. New York: Free Press, 2003.
- SILVA, F. A. da; ALCALÁ, S. G. S.; CUKLA, A. R. Precisão vs. fotorrealismo: uma análise comparativa de tecnologias de reconstrução 3D para a perícia forense. In: JORNADA DE JOVENS PESQUISADORES DA AUGM, 32., 2025, San Miguel de Tucumán. **Anais eletrônicos [...]**. San Miguel de Tucumán: AUGM, 2025. p. 189-209. v. 9. Disponível em: <https://grupomontevideo.org/site/wp-content/uploads/2026/07/EXA9.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2026.
- SIMÃO, A. et al. **A implementação de um processo de “gestão por processos” na Polícia Federal Brasileira**. Rio de Janeiro: DPF, 2015. (Documento técnico-institucional).
- SPEAKER, P. J. Key performance indicators and managerial analysis for forensic laboratories. **Forensic Science Policy and Management**, v. 1, n. 1, p. 32-42, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/19409040802624075>.
- TREDINNICK, R.; SMITH, S.; PONTO, K. A cost-benefit analysis of 3D scanning technology for crime scene investigation. **Forensic Science International: Reports**, v. 1, 100002, p. 1-6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2019.100025>.
- VECCHIO, F. B.; BECK, F. R. A prova digital e a sua cadeia de custódia no processo penal: uma análise doutrinária, normativa e jurisprudencial. **Journal of Law and Corruption Review**, v. 6, n. 1, e108, p. 1-22, 2025. Disponível em: <https://corruptionreview.org/revista/article/view/108>. Acesso em: 18 jul. 2026.
- VENKATESH, V. et al. User acceptance of information technology: toward a unified view. **MIS Quarterly**, v. 27, n. 3, p. 425-478, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2307/30036540>.
- ZAPPALÀ, A. et al. Enhancing crime scene investigations through virtual reality and deep learning techniques. **arXiv preprint**, arXiv:2409.18458, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2409.18458>. Acesso em: 18 jul. 2026.
- ZERBO, S. et al. The chain of custody in the era of modern forensics: from the classic procedures for gathering evidence to the new challenges related to digital data. **Healthcare**, v. 11, n. 5, 634, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare11050634>.

APÊNDICE A - INSTRUMENTO DE SOLICITAÇÃO VIA LEI DE ACESSO À INFORMAÇÃO

Data do pedido: 30 de junho de 2026

Meio de envio: Plataforma eletrônica de acesso à informação de cada órgão (Fala.BR, e-SIC estaduais ou e-mail).

Texto do pedido encaminhado a todos os 28 entes:

Prezados(as),

Sou perito criminal da Superintendência de Polícia Técnico-Científica de Goiás e aluno do Curso de Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública (CEGESp), promovido pela Secretaria de Segurança Pública de Goiás. Minha pesquisa de conclusão de curso tem como objeto a documentação tridimensional (3D) de locais de crime, abrangendo tecnologias como Fotogrametria Digital, Escaneamento a Laser, sensores RGB-D, *3D Gaussian Splatting* e *Neural Radiance Fields*.

Com fundamento na Lei nº 12.527/2011 (Lei de Acesso à Informação), solicito a seguinte informação:

A Polícia Científica desse estado dispõe de algum protocolo, norma, instrução normativa, manual, portaria, procedimento operacional padrão ou documento equivalente que discipline o uso de tecnologias de reconstrução tridimensional (3D) para documentação de locais de crime e/ou vestígios?

Em caso afirmativo, solicito, por gentileza, que o documento seja disponibilizado para consulta. Em caso negativo, peço que isso seja informado expressamente na resposta.

Agradeço antecipadamente pela atenção e coloco-me à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente,

Fernando Alves da Silva

Perito Criminal – SPTC/GO

E-mail: fernando.esilva@goias.gov.br

Telefone: 64 99266-8503

APÊNDICE B - MATRIZ DE SISTEMATIZAÇÃO DAS RESPOSTAS À LAI

Data de fechamento da coleta: 24 de julho de 2026.

Quadro B.1 – Respostas obtidas e classificação

UF	Órgão	Protocolo LAI	Status	Síntese da resposta	Classificação
AC	DPTC	–	Sem resposta	–	Sem resposta
AL	Polícia Científica	945/2026	Resposta recebida	Normatização em andamento; sem equipamentos.	Normatização em andamento, sem equipamentos
AM	DPTC/SSP-AM	00645.202600/0478-47	Resposta recebida	Sem normativos ou equipamentos.	Sem normativos ou equipamentos
AP	Polícia Científica	0000.15535011930062026	PROBLEMA DE ACESSO	Resposta disponível, mas inacessível por erro no site.	Resposta não substantiva
BA	DPT	3313969	Resposta recebida	Protocolo em elaboração. Equipamento: Trimble X7. Capacitação: fabricante.	Com equipamentos, sem protocolo
CE	PEFOCE	7784304	Resposta recebida	Sem protocolo. Equipamento: <i>Laser Scanner</i> . Capacitação continuada. Central de vestígios digitais em nuvem: não.	Com equipamentos, sem protocolo
DF (PCDF)	DPT	LAI-015274/2026	Dilação	Pedido de dilação; sem resposta final.	Sem resposta (dilação)
ES	PCIES	2026062829	Sem resposta	–	Sem resposta
GO	SPTC	2026.0630.155402-87	Resposta recebida	Sem normativos ou equipamentos.	Sem normativos ou equipamentos
MA	SPTC	00001.001473/2026-61	Resposta recebida	Sem protocolo. Equipamento: Trimble X9. Capacitação: fabricante.	Com equipamentos, sem protocolo
MT	POLITEC	492421	Sem resposta	–	Sem resposta
MS	CGP	03546.202600/0045-34	Resposta recebida	<i>Laser Scanner</i> Trimble X7. Capacitação não informada.	Com equipamentos, sem protocolo
MG	SPTC	1510.000240/2026-64	Resposta recebida	Sem protocolo. Equipamento: Marca/modelo não informado.	Com equipamentos, sem protocolo
PA	CPC	–	Sem resposta	–	Sem resposta
PB	IPC	–	FORA DO AR	Resposta encaminhada, mas não acessível.	Resposta não substantiva
PE	GGPOC	202683592	Sem resposta	–	Sem resposta
PI	DPTC	03383.202600/251-25	Incompetência	Declarou-se incompetente.	Sem resposta (incompetência)
PR	PCP/PR	–	Sem resposta	–	Sem resposta
RJ	DGPTC	20260702547788	Resposta recebida	Protocolo ITC 5.3.1 N09. Equipamento: Trimble X7.	Com protocolo formalizado
RN	ITEP	01072026212353805	Sem resposta	–	Sem resposta
RS	IGP	18999017/0168	Resposta recebida	Sem normativos ou equipamentos.	Sem normativos ou equipamentos
RO	POLITEC	20260701203908190	Resposta recebida	Sem normativos ou equipamentos.	Sem normativos ou equipamentos
RR	Polícia Científica	02777202600006925	Sem resposta	–	Sem resposta
SC	Polícia Científica	2026026357	Resposta recebida	9 POPs e Ordem de Serviço. Equipamento: <i>Laser Scanner</i> .	Com protocolo formalizado
SP	SPTC	2026070310261168	Resposta recebida	Sem normativos ou equipamentos.	Sem normativos ou equipamentos
SE	COGERP	50892/26-4	Sem resposta	–	Sem resposta
TO	SPTC	–	Sem resposta	–	Sem resposta
União (PF)	Polícia Federal	08198.024407/2026-11	Resposta recebida	Informação classificada como restrita.	Sem resposta substantiva

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

APÊNDICE C - QUADRO CONSOLIDADO DE REQUISITOS (DIAGNÓSTICO → DIRETRIZES)

Quadro C.1 – Quadro consolidado de requisitos (Diagnóstico → Diretrizes)

Problema / Lacuna	Evidência (LAI / Literatura)	Requisito para as diretrizes	Diretriz(es)
Ausência de protocolos institucionais padronizados	Apenas 2 estados com protocolo; 5 sem normativos nem equipamentos; 3 com equipamento sem protocolo.	Protocolo genérico com etapas mínimas, adaptável institucionalmente.	D2, D4
Inexistência de critérios objetivos para seleção da tecnologia	Nenhum estado relatou matriz decisória; fotogrametria não foi mencionada.	Quadro decisório baseado em finalidade, tolerância, custo, tempo e recursos.	D1
Capacitação restrita ao fabricante	BA e MA treinamento do fabricante; CE capacitação continuada, mas sem componente gerencial.	Capacitação modular e continuada, abrangendo metrologia, normativos, gestão.	D4
Infraestrutura de armazenamento insuficiente	CE declarou ausência de central de vestígios digitais em nuvem; demais não mencionaram.	Requisitos de armazenamento escalável, backup, preservação digital de longo prazo.	D3, D4
Cadeia de custódia digital inadaptada a modelos 3D	Nenhum estado descreveu procedimentos de <i>hash</i> ou <i>log</i> para modelos 3D.	Registro imutável (<i>hash</i> , <i>log</i>) de todas as transformações, com distinção de evidência primária e derivada.	D3
Falta de validação metrológica (3DGS)	Validação métrica incipiente; estudos recentes com MAE de 1,7-3,6 mm em condições controladas.	Procedimento de validação métrica com tolerâncias documentadas; uso restrito a visualização até validação completa.	D1, D2
Ausência de KPIs e monitoramento	Nenhum estado mencionou indicadores de desempenho para documentação 3D.	Conjunto de KPIs com procedimento de linha de base e metas institucionais.	D4
Investimento sem análise de custo-benefício	3 estados adquiriram TLS sem protocolo; nenhum avaliou fotogrametria.	Metodologia de análise de viabilidade econômica e ponto de equilíbrio.	D1, D4
Baixa interoperabilidade e fragmentação	Nenhum estado relatou integração com sistemas legados.	Padrões de formato aberto, metadados e interfaces para integração sistêmica.	D3, D4
Fatores de aceitação tecnológica não considerados	Nenhum programa de gestão da mudança ou comunicação de benefícios relatado.	Estratégias de comunicação, demonstração de resultados e coleta de feedback.	D4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

APÊNDICE D - DIRETRIZES PARA DOCUMENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL NA PERÍCIA CRIMINAL

BLOCO 1 – APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta as diretrizes para documentação tridimensional de locais de crime, destinadas a gestores e peritos criminais das polícias científicas brasileiras. Seu propósito é orientar a escolha da tecnologia mais adequada a cada cenário pericial, padronizar os procedimentos de captura, processamento e armazenamento, e assegurar a integridade da cadeia de custódia dos modelos tridimensionais gerados.

As diretrizes baseiam-se em revisão da literatura internacional, análise das normas técnicas aplicáveis (ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013; ISO/IEC 27041, 27042 e 27043), diagnóstico das práticas institucionais vigentes no Brasil e na abordagem da gestão por processos (*Business Process Management – BPM*), conforme sistematizada no BPM CBOK (ABPMP, 2020) e em estudos de aplicação do *BPM* à administração pública e aos serviços periciais (Pereira, 2016; Speaker, 2009; Iritani *et al.*, 2015). Devem ser aplicadas em conjunto com os Procedimentos Operacionais Padrão já existentes em cada organização.

Princípio estruturante – prova métrica vs. comunicação visual. O produto da documentação 3D destina-se a duas finalidades complementares, porém juridicamente distintas: (a) a prova métrica, que exige acurácia certificável e fundamenta medições e conclusões periciais; e (b) a comunicação visual, que se beneficia do fotorrealismo para facilitar a compreensão imersiva da cena por magistrados, promotores, jurados e demais partes interessadas. Tecnologias de *novel view synthesis* (como o 3DGS) geram modelos derivados cuja escala é intrinsecamente relativa; portanto, não constituem prova métrica autônoma. A evidência primária são os dados brutos de aquisição – fotografias originais e/ou arquivos nativos de varredura laser –, cuja integridade é garantida por *hash* criptográfico. O modelo 3DGS é produto derivado de finalidade predominantemente ilustrativa, podendo ser empregado como suporte métrico apenas mediante calibração e validação específicas, devidamente documentadas no laudo. Essa distinção deve constar explicitamente do laudo pericial e será observada em todas as diretrizes que se seguem.

BLOCO 2 – QUADRO DECISÓRIO POR CENÁRIO PERICIAL

Quadro D.1 – Matriz de decisão para documentação 3D baseada em critérios

Critério	Situação / Condição	Tecnologia Principal (base métrica)	Tecnologia Complementar (visualização)	Observações / Limitações
1. Finalidade do registro	Prova métrica (medições com tolerância definida)	<i>Laser Scanner</i> ou Fotogrametria, conforme critérios 2 a 5	3DGS (opcional)	O 3DGS não substitui a base métrica; medições devem ser extraídas do modelo principal validado.
	Comunicação visual (imersão, apresentação)	–	3DGS ou modelo fotogramétrico texturizado	Ainda que o foco seja visual, recomenda-se documentar metricamente a cena.
2. Tolerância de erro admissível	≤ 5 mm	<i>Laser Scanner</i> Terrestre	3DGS (a partir das fotografias de texturização)	Fotogrametria de proximidade calibrada pode atingir essa faixa, exigindo validação prévia.
	5–30 mm	Fotogrametria Digital (câmera DSLR ou drone)	3DGS	Faixa típica para acidentes de trânsito, cenas externas e desastres.
	> 30 mm ou medições não exigidas	Fotogrametria simplificada ou 3DGS calibrado	–	Se nenhuma medição for necessária, o 3DGS pode ser suficiente, com ressalva expressa no laudo.
3. Dimensão e complexidade da cena	Pequena/média (< 100 m ²), geometria controlada	<i>Laser Scanner</i> ou Fotogrametria	3DGS	Ambos viáveis; a escolha recai sobre os demais critérios.
	Grande/extensa (> 100 m ²) ou terreno irregular	Fotogrametria aérea (drone)	3DGS	O drone reduz significativamente o tempo de varredura e cobre áreas inacessíveis.
	Espaço confinado ou de risco (desabamento)	Fotogrametria com drone ou câmera em vara	3DGS	Priorizar a segurança do perito; a captura remota é a primeira opção.
4. Condições de iluminação	Boa (natural ou artificial adequada)	Qualquer método	–	–
	Baixa ou ausente	<i>Laser Scanner</i>	3DGS (se houver fotografias com flash)	O <i>Laser Scanner</i> independe de luz ambiente.
5. Tempo disponível para captura e liberação da cena	Crítico (liberação imediata)	Smartphone com aplicativo de fotogrametria	3DGS (treinado posteriormente)	Registrar as limitações no laudo; priorizar rapidez, com possibilidade de complementação futura.
	Normal (horas)	<i>Laser Scanner</i> ou Fotogrametria (protocolo completo)	3DGS	Seguir integralmente o <i>checklist</i> do Bloco 3.
6. Infraestrutura de processamento e armazenamento	Sem GPU ou armazenamento limitado	Fotogrametria com processamento em nuvem ou <i>Laser Scanner</i> (processamento leve)	–	O 3DGS requer GPU; na ausência, utilizar somente o modelo métrico.
	Com GPU e armazenamento escalável	Qualquer tecnologia	3DGS	–
7. Competência da equipe	Equipe treinada em fotogrametria	Fotogrametria	3DGS (se capacitação adicional)	–
	Equipe treinada em <i>Laser Scanner</i>	<i>Laser Scanner</i>	3DGS	–
	Equipe sem capacitação específica	Contratar serviço especializado ou utilizar soluções de baixa complexidade e comprovada validade	–	A validade da prova depende da capacitação; não operar equipamentos complexos sem treinamento formal.

Critério	Situação / Condição	Tecnologia Principal (base métrica)	Tecnologia Complementar (visualização)	Observações / Limitações
8. Segurança do perito	Risco elevado (estrutura instável, produtos perigosos)	Fotogrametria aérea (drone) ou câmera remota	–	Nenhum registro 3D justifica a exposição do perito a risco.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Quadro D.2 – Seleção de tecnologia por cenário pericial (quadro exemplificativo)

Cenário Pericial	Tecnologia Principal (base métrica)	Tecnologia Complementar (visualização)	Justificativa Técnica
Homicídio em ambiente interno	<i>Laser Scanner</i>	3DGS	Precisão milimétrica recomendada para análise de trajetórias balísticas e padrões de mancha de sangue (Hołowko <i>et al.</i> , 2016; Dustin; Liscio, 2016).
Homicídio em via pública	Fotogrametria Digital	3DGS	Cobertura rápida com precisão suficiente para cena externa (Galanakis <i>et al.</i> , 2021). O 3DGS agrega visualização imersiva.
Acidente de trânsito com vítima	<i>Laser Scanner</i>	Fotogrametria aérea (drone) e 3DGS	Exigência de acurácia para cálculo de velocidades e distâncias de frenagem. Drone fornece visão de contexto; 3DGS para apresentação.
Crime patrimonial	Fotogrametria Digital	3DGS	Cenas de geometria simples resolvidas com baixo custo.
Incêndio ou explosão	<i>Laser Scanner</i>	3DGS (se houver imagens)	O laser opera independentemente de iluminação (Maneli; Isafiade, 2022).
Desabamento ou desastre	Fotogrametria com drone	<i>Laser Scanner</i> (se acesso seguro) e 3DGS	Segurança do perito: drone cobre áreas instáveis sem exposição a risco.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Notas de aplicação:

1. Na ausência da tecnologia principal recomendada, seleciona-se a melhor disponível, documentando-se a justificativa e as limitações no laudo pericial – procedimento que atende à transparência metodológica e ao registro da cadeia de custódia.
2. Tecnologias emergentes (3DGS e *NeRF*), dada sua natureza de *novel view synthesis*, são recomendadas como complemento visual. Sua adoção como suporte métrico depende de validação por objeto de referência calibrado e comparação com medidas conhecidas (Cho; Woo, 2026), circunstância que deve constar explicitamente do laudo.
3. O *NeRF*, embora promissor, carece de estudos de validação métrica em contexto forense e deve ser objeto de monitoramento tecnológico pelas instituições, sem recomendação de uso operacional imediato.

BLOCO 3 – PROTOCOLO DE DOCUMENTAÇÃO 3D (LISTA DE VERIFICAÇÃO)

Este *checklist* aplica-se a qualquer tecnologia de documentação tridimensional. O perito responsável deve rubricar cada item após sua execução. Os prazos, especificações técnicas e tolerâncias mencionados são referenciais; cada instituição deve adequá-los à sua realidade operacional.

Quadro D.3 – *Checklist* de documentação 3D

#	Etapa	Ação	Conferido
1	Avaliação prévia	Avaliar dimensões, complexidade geométrica, iluminação, acesso, urgência de liberação da cena e equipamentos disponíveis. Quando se planeja o uso de	☐

#	Etapa	Ação	Conferido
		drone, verificar previamente as autorizações de voo exigidas (ANATEL, ANAC, DECEA) e as condições meteorológicas. Registrar em formulário padronizado.	
2	Preservação e referências	Isolar e preservar a cena conforme art. 158-B do CPP. Nenhum vestígio pode ser alterado antes ou durante a captura. Posicionar marcadores de escala calibrados e alvos de referência espacial em diferentes planos e profundidades. Quando se planeja uso de 3DGS, capturar nesta etapa as fotografias que servirão tanto à texturização do modelo principal quanto ao treinamento do modelo derivado.	☐
3	Seleção da tecnologia	Selecionar a tecnologia principal (e complementar, se aplicável) conforme o Quadro Decisório (Bloco 2). Justificar por escrito se houver desvio em relação à recomendação, registrando a justificativa no laudo.	☐
4	Captura	Executar a captura conforme as especificações da tecnologia selecionada: sobreposição de 60-80% entre fotografias (fotogrametria e 3DGS); número mínimo de estações e passo angular (<i>Laser Scanner</i>); trajetória contínua de vídeo (quando a tecnologia selecionada o exigir). Registrar condições operacionais encontradas e eventuais desvios.	☐
5	Registro de metadados e hash	Imediatamente após a captura, registrar, vinculado a identificador único: data, hora, geolocalização, equipamento (marca, modelo, série), configurações, nome e matrícula do perito responsável. Calcular e registrar o hash SHA-256 de cada arquivo bruto de aquisição (fotografias originais e/ou arquivos nativos de varredura laser) – operação que constitui um dos mecanismos de verificação de integridade e deve integrar um registro mais amplo de aquisição, acesso, transferência e processamento (conforme Bloco 4).	☐
6	Processamento e validação	Processar os dados brutos. Para o modelo métrico (fotogrametria ou <i>Laser Scanner</i>): comparar as dimensões conhecidas dos marcadores de escala com as medições obtidas no modelo digital; o erro máximo admissível deve ser previamente definido pela organização (Poltronieri <i>et al.</i> , 2025). Reprocessar se fora da tolerância. Para o modelo 3DGS: validar apenas visualmente (ausência de artefatos, fidelidade cromática). Caso se pretenda utilizar o 3DGS como suporte métrico, a calibração por objeto de referência e a validação contra medidas conhecidas são imprescindíveis, devendo essa circunstância constar do laudo.	☐
7	Hash dos arquivos finais	Gerar hash SHA-256 de cada arquivo final: modelo métrico, modelo complementar e arquivo de metadados.	☐
8	Armazenamento	Depositar todos os arquivos, no menor prazo viável após o processamento, em repositório institucional gerenciado, com controle de acesso baseado em papéis, registro de auditoria e backup automatizado. Não manter cópia única em estação local ou mídia removível. Preservar os arquivos nativos e, adicionalmente, exportações em formatos abertos e documentados: RAW ou TIFF para fotografias originais; PLY, OBJ ou LAS/LAZ para modelos métricos; CSV ou JSON para metadados e logs; e software de visualização em versão autônoma para modelos 3DGS. A conversão para formato aberto não substitui os arquivos originais , que devem ser igualmente preservados.	☐

#	Etapa	Ação	Conferido
9	Registro no laudo	Fazer constar do laudo pericial, de forma inequívoca: (i) dados brutos de aquisição (fotografias originais e/ou arquivos nativos de varredura laser) e seus respectivos <i>hashes</i> (evidência primária); (ii) modelo métrico principal, base das medições e conclusões; (iii) modelo 3DGS, quando gerado, como material ilustrativo derivado, sem valor métrico autônomo; (iv) limitações do modelo complementar; (v) eventuais desvios do protocolo e respectivas justificativas.	☐

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Nota: A frequência de sobreposição (60-80%), o número de estações e demais parâmetros técnicos devem ser ajustados conforme o método validado pela instituição, o equipamento utilizado e as características da cena. O prazo de depósito no repositório será definido por cada unidade com base em seu fluxo operacional e no risco de perda de dados.

BLOCO 4 – REQUISITOS DE CADEIA DE CUSTÓDIA

Além dos requisitos tradicionais de identificação, integridade, rastreabilidade e armazenamento, foram incorporadas exigências específicas para preservação do ambiente computacional e para a emissão de manifesto de integridade, detalhadas a seguir.

Quadro D.4 – Requisitos mínimos de cadeia de custódia para modelos 3D

Requisito	Como cumprir	Fundamento
Identificação	Registrar metadados completos: perito responsável, data, hora, geolocalização, equipamento utilizado, configurações de captura. Atribuir identificador único a cada arquivo gerado.	CPP, arts. 158-B e 158-C; ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013
Integridade	Calcular <i>hash</i> SHA-256 de cada arquivo no momento de sua criação (dados brutos de aquisição, modelo métrico, modelo complementar, metadados). Verificar periodicamente a integridade dos arquivos armazenados por comparação de <i>hash</i> .	CPP, art. 158-C; ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013
Rastreabilidade das transformações	Manter <i>log</i> cronológico de todas as operações realizadas sobre cada arquivo: alinhamento, geração de nuvem de pontos, reconstrução de superfície, texturização, treinamento do 3DGS, conversões, extrações, transferências. Registrar data, responsável, operação realizada e <i>hash</i> do arquivo resultante. Esse <i>log</i> acompanha os modelos em todas as cópias e transferências.	CPP, arts. 158-A e 158-D; Nath <i>et al.</i> (2024)
Classificação probatória dos arquivos	Distinguir três categorias no laudo e nos registros de custódia: (i) dados brutos de aquisição (fotografias originais e varreduras nativas) e seus <i>hashes</i> – evidência primária, cuja integridade é autônoma e verificável; (ii) modelo métrico principal – base das medições e conclusões periciais; (iii) modelo 3DGS – material ilustrativo derivado, sem valor métrico autônomo, cuja eventual impugnação não contamina as fotografias que lhe deram origem.	CPP, arts. 158-A a 158-F; Vecchio e Beck (2025); Fukuda <i>et al.</i> (2026)
Armazenamento institucional	Depositar os arquivos em repositório institucional gerenciado, com controle de acesso baseado em papéis, registro de auditoria, backup automatizado e política de preservação digital de longo prazo compatível com os prazos prescricionais, acrescidos de margem para revisão criminal.	Grispos; Storer; Glisson (2012); ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013

Requisito	Como cumprir	Fundamento
Formato de arquivo	Preservar todos os arquivos nos formatos nativos de captura e, adicionalmente, em formatos abertos e documentados: RAW ou TIFF para fotografias originais; PLY, OBJ ou LAS/LAZ para modelos geométricos; CSV ou JSON para metadados e logs; software de visualização em versão autônoma para modelos 3DGS. A conversão para formato aberto não substitui os arquivos originais.	ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013; Carew; French; Morgan (2023)
Preservação do ambiente computacional	Para modelos derivados de aprendizado de máquina (3D Gaussian Splatting, NeRF e outros), preservar, além do arquivo do modelo, os seguintes elementos: (i) código-fonte ou identificador inequívoco do software utilizado (versão, commit <i>hash</i>); (ii) parâmetros de treinamento (taxa de aprendizado, iterações, semente aleatória, resolução); (iii) dependências de bibliotecas e frameworks (nome, versão); e (iv) especificações do hardware de treinamento (<i>GPU</i> , memória, driver). Esse pacote deve ser armazenado junto com os arquivos do caso e seu <i>hash</i> registrado no <i>log</i> de transformações. A disponibilização de visualizador autônomo facilita a apresentação, mas não supre, isoladamente, a exigência de reprodutibilidade.	ISO/IEC 27041:2015 (validação de métodos); Kerbl <i>et al.</i> (2023); Cho e Woo (2026)
Normas aplicáveis	Observar, além dos arts. 158-A a 158-F do CPP, os requisitos da ABNT NBR ISO/IEC 27037:2013 (identificação, coleta, aquisição e preservação de evidência digital) e das normas ISO/IEC 27041 (validação de métodos), 27042 (análise e interpretação) e 27043 (gestão de incidentes).	Brasil (1941); ISO (2012; 2015a; 2015b; 2015c)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Nota: A norma ISO/IEC 27041 trata da garantia de adequação de métodos investigativos à finalidade, o que abrange a rastreabilidade das ferramentas e configurações.

BLOCO 5 – PLANO DE CAPACITAÇÃO

A capacitação é organizada por competências e resultados de aprendizagem verificáveis. As durações indicadas são referenciais; cada instituição deve ajustar carga horária, periodicidade e conteúdo conforme seu programa de formação e recursos disponíveis.

Quadro D.5 – Competências e níveis de capacitação em documentação tridimensional

Nível	Público-alvo	Competências (resultados esperados)	Conteúdo programático	Duração indicativa (referencial)	Periodicidade sugerida
Básico	Todos os peritos criminais da unidade	Identificar as tecnologias de documentação 3D aplicáveis; distinguir prova métrica e comunicação visual; operar câmera DSLR e executar captura fotogramétrica básica com smartphone; registrar metadados e calcular <i>hash</i> dos arquivos.	Fundamentos da documentação 3D; diferenças entre tecnologias; distinção entre prova métrica e comunicação visual; Fotogrametria Digital com câmera DSLR ou smartphone; noções de cadeia de custódia digital.	16 a 24 horas-aula	Oferta semestral
Intermediário	Peritos designados para unidades estratégicas (capital, regionais)	Planejar e executar levantamento com <i>Laser Scanner</i> ; processar nuvens de pontos e modelos fotogramétricos; validar metricamente o modelo (comparação com marcadores); selecionar a tecnologia conforme a Diretriz 1.	<i>Laser Scanner</i> : operação, planejamento de estações, registro de nuvens, exportação; processamento fotogramétrico avançado; validação métrica; gestão de dados 3D; critérios de seleção tecnológica.	32 a 40 horas-aula	Oferta anual
Avançado	Multiplicadores (mínimo 1 por regional)	Treinar e avaliar modelos 3DGS; compreender limitações metrológicas de tecnologias	Tecnologias emergentes (3DGS, NeRF): fundamentos, treinamento de	60 a 80 horas-aula	Turma única, com

Nível	Público-alvo	Competências (resultados esperados)	Conteúdo programático	Duração indicativa (referencial)	Periodicidade sugerida
		emergentes; preservar digitalmente modelos em longo prazo; atuar como multiplicador e auditor interno do processo.	modelos, limitações; integração com softwares de visualização; preservação digital de longo prazo; formação de multiplicadores; requisitos normativos e jurídicos.		atualização bianual
Continuado	Todos os peritos capacitados	Atualizar-se sobre novas versões de software, equipamentos, alterações normativas e protocolos revisados.	Atualização sobre novas versões de software, novos equipamentos, alterações normativas e revisão de protocolos.	4 a 8 horas-aula	Oferta anual

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Nota: A progressão entre os níveis deve basear-se na demonstração das competências listadas, e não apenas no cumprimento de carga horária. As durações e periodicidades são sugestões iniciais, a serem adaptadas pela instituição conforme sua realidade operacional e disponibilidade de instrutores.

BLOCO 6 – INDICADORES DE DESEMPENHO (KPIs)

As metas devem ser estabelecidas pela própria instituição após a coleta de linha de base (mínimo de seis meses de operação), evitando-se imposições desvinculadas da prática local. A tabela a seguir apresenta os indicadores, a forma de cálculo e o procedimento para definição das metas.

Quadro D.6 – KPIs para monitoramento da documentação 3D

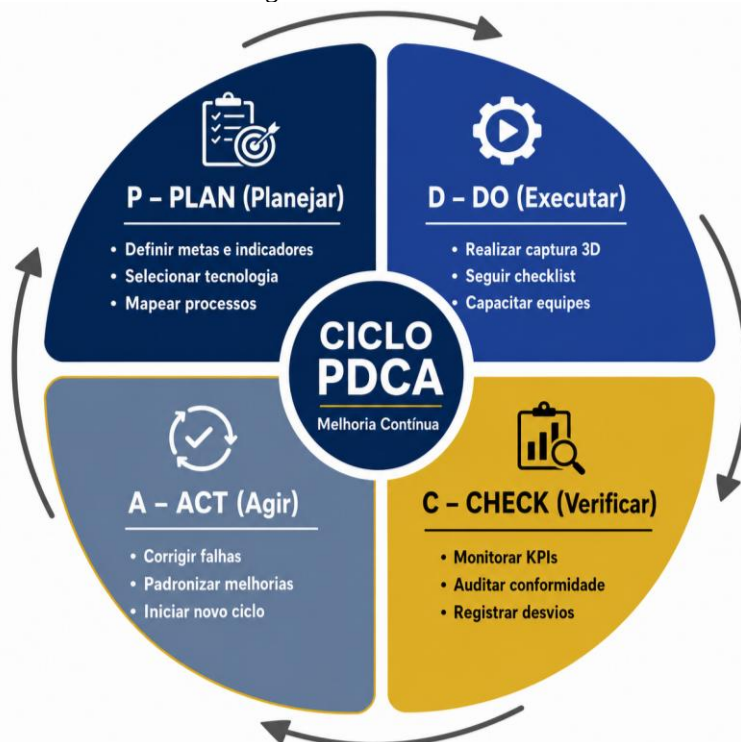
Indicador	Fórmula	Dimensão de desempenho	Metas (procedimento de definição)	Periodicidade
Taxa de aplicação de documentação 3D em cenas elegíveis	$(N^{\circ} \text{ de ocorrências documentadas com 3D} \div N^{\circ} \text{ total de ocorrências com exame de local em que 3D era viável}) \times 100$	Eficiência / Cobertura	Definir pela instituição após seis meses de série histórica. Exemplo inicial (não vinculante): $\geq 50\%$ em dois anos.	Trimestral
Tempo médio de captura	$\text{Somatório dos tempos de captura (min)} \div N^{\circ} \text{ de capturas realizadas no período}$	Eficiência / Produtividade	Definir com base na média observada por tipo de cena; a meta deve ser progressiva, revisada anualmente.	Trimestral
Precisão métrica alcançada vs. requerida	$(N^{\circ} \text{ de modelos cujo erro de validação} \leq \text{tolerância definida pela unidade} \div \text{Total de modelos validados}) \times 100$	Qualidade / Conformidade técnica	Tolerância definida institucionalmente conforme a finalidade pericial. Exemplo referencial: $\geq 95\%$ de conformidade para a tolerância adotada.	Trimestral
Volume de dados gerados por cena	$\text{Somatório do volume (GB) de todos os arquivos do caso} \div N^{\circ} \text{ de casos com documentação 3D}$	Infraestrutura / Capacidade	Monitorar tendência; definir meta após 12 meses de série histórica.	Trimestral
Taxa de conformidade protocolar	$(N^{\circ} \text{ de checklists integralmente cumpridos} \div \text{Total de checklists auditados}) \times 100$	Conformidade / Adesão	Definir pela instituição; valor de referência inicial sugerido: $\geq 90\%$.	Trimestral (auditoria amostral)
Índice de questionamentos judiciais	$(N^{\circ} \text{ de modelos 3D com questionamento à validade da prova} \div \text{Total de modelos 3D apresentados}) \times 100$	Efetividade / Impacto jurídico	Monitorar tendência; definir meta após 12 meses. Valor de referência inicial: $\leq 5\%$.	Anual

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

BLOCO 7 – CICLO DE MELHORIA CONTÍNUA

As diretrizes aqui estabelecidas não são estáticas: devem ser objeto de revisão periódica, com base nos resultados mensurados pelos KPIs e no *feedback* de peritos e destinatários do laudo pericial. Recomenda-se a adoção do ciclo PDCA como método de gestão:

Figura D.1 – Ciclo PDCA



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Como suporte ao ciclo de melhoria contínua, três instrumentos complementares devem ser institucionalizados. O primeiro consiste no planejamento anual, por meio do qual cada unidade estabelece metas de adoção das tecnologias, capacitação de pessoal e aquisição de equipamentos para o exercício seguinte, em estrita consonância com o planejamento orçamentário. O segundo é a reunião trimestral de qualidade, momento dedicado à análise dos indicadores de desempenho do período, à discussão de casos-problema e à proposição fundamentada de ajustes nos protocolos vigentes. O terceiro instrumento é a revisão periódica formal das próprias diretrizes: o quadro decisório, o checklist operacional e o conjunto de KPIs devem ser reexaminados em intervalo nunca superior a dois anos, ou antecipadamente sempre que sobrevier alteração normativa relevante, a disponibilidade de novas tecnologias devidamente validadas ou a acumulação de evidências de desatualização. A periodicidade exata dessa revisão será definida no âmbito do planejamento estratégico de cada instituição.

Estas diretrizes constituem instrumento de gestão e padronização, não um fim em si mesmas. Sua efetividade depende do compromisso institucional com a capacitação continuada, do investimento planejado em infraestrutura e, sobretudo, da adesão dos peritos criminais – que

são, em última análise, os responsáveis por transformar estas orientações em prova pericial transparente e metodologicamente rastreável.

APÊNDICE E - ESTRATÉGIA DE BUSCA DETALHADA E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Este apêndice descreve as estratégias de busca empregadas em cada base consultada, os critérios que orientaram a inclusão e a exclusão de documentos e o fluxo de seleção que resultou no corpus de 68 trabalhos utilizados na revisão bibliográfica.

A busca bibliográfica foi conduzida entre junho e julho de 2026, abrangendo cinco bases ou agregadores. O Google Scholar funcionou como buscador federado, cobrindo amplamente os acervos do IEEE Xplore, ScienceDirect, SciELO e, de forma complementar, repositórios de preprints como o arXiv. O IEEE Xplore foi consultado diretamente para recuperar artigos com ênfase em engenharia e tecnologia, área em que se inserem muitos dos estudos sobre fotogrametria e escaneamento a laser. O ScienceDirect forneceu acesso a normas e periódicos internacionais de ciências forenses. O SciELO complementou a cobertura com publicações nacionais relevantes, especialmente nas áreas de segurança pública e gestão. Por fim, o arXiv, além de capturado pelo Google Scholar, foi acessado diretamente por meio de buscas com o operador “site:arxiv.org”, a fim de localizar preprints recentes ainda não indexados em periódicos.

As estratégias de busca, detalhadas no Quadro E.1, combinaram descritores em inglês e português, articulados por operadores booleanos (AND, OR) e delimitados por aspas quando se tratava de frases exatas. Os termos foram organizados segundo quatro eixos temáticos: tecnologias de documentação 3D e seu desempenho; metrologia e cadeia de custódia de evidências digitais; gestão e implementação organizacional; e aceitação tecnológica no setor público. Em todas as bases que ofereciam suporte, aplicou-se também o truncamento (forensic*) para capturar variações terminológicas.

Quadro E.1 – Eixos temáticos, *strings* de busca e operadores

Eixo temático	Exemplos de <i>strings</i> utilizadas
Tecnologias 3D e desempenho	“3D crime scene documentation” OR “3D forensic reconstruction”; “photogrammetry” AND “forensic” AND “accuracy”; “Neural Radiance Fields” AND “forensic”; “3D Gaussian Splatting” AND “accuracy”; “Laser Scanner” AND “crime scene” AND “accuracy”; “fotogrametria” AND “perícia”
Metrologia e cadeia de custódia	“chain of custody” AND “digital evidence” AND “forensic”; “ISO 27037”; “digital evidence preservation”; “cadeia de custódia” AND “prova digital”; “ISO 17025” AND “forensic”

Eixo temático	Exemplos de strings utilizadas
Gestão e implementação	<i>“business process management” AND “forensic”; “BPM” AND “public security”; “KPI” AND “forensic laboratory”; “capacidade institucional” AND “segurança pública”; “gestão por processos” AND “perícia”</i>
Aceitação tecnológica	<i>“technology acceptance model” AND “police”; “UTAUT” AND “public sector”; “innovation” AND “forensic science”; “difusão de inovações” AND “serviço público”</i>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Nota: Operadores auxiliares: restrição por domínio (site:arxiv.org) para captura de *preprints*; truncamento (*forensic**) quando suportado pela base.

O recorte temporal privilegiou publicações situadas entre 2016 e 2026, admitindo-se, excepcionalmente, obras seminais anteriores quando imprescindíveis para fundamentar os modelos de aceitação tecnológica. Os critérios de inclusão abrangeram artigos completos revisados por pares, trabalhos completos publicados em anais de conferências, preprints com pertinência direta ao tema, revisões sistemáticas e documentos normativos oficiais (ISO, NIST). Foram excluídos resumos cujo texto completo não estivesse acessível, publicações duplicadas, trabalhos cujo foco se afastasse dos critérios temáticos (por exemplo, reconstrução 3D voltada exclusivamente para entretenimento) e textos em idiomas não dominados pelo autor, excetuados o inglês e o português.

O fluxo de seleção seguiu etapas sucessivas. A busca inicial retornou aproximadamente 1.200 registros. Em seguida, procedeu-se à triagem por título e à remoção de duplicatas, por meio da atribuição de identificador sequencial a cada artigo único e da comparação de títulos, DOIs e metadados, restando cerca de 400 registros. A leitura dos resumos, já com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, reduziu o conjunto para 120 trabalhos. A avaliação do texto completo permitiu identificar 68 documentos que atenderam a todos os critérios – 67 artigos oriundos da busca sistemática e 1 estudo complementar do próprio autor (Silva; Alcalá; Cukla, 2025). A distribuição final entre os eixos temáticos, considerando que vários artigos contribuíram para mais de um eixo, foi a seguinte: 24 artigos concentraram-se em tecnologias de documentação 3D e desempenho; 18 artigos, acrescidos de 7 normas, abordaram aspectos de metrologia, validade e cadeia de custódia; 18 artigos trataram de capacidade institucional e gestão da implementação; e 12 artigos discutiram fatores de aceitação tecnológica no setor público. O gerenciamento das referências foi realizado manualmente, com o auxílio de planilha de controle que registrava, para cada documento, a base de origem, a string de busca empregada, título, autores, ano, eixo temático e a justificativa para sua inclusão ou exclusão.

De cada artigo incluído foram extraídos dados como as tecnologias abordadas, os parâmetros de desempenho reportados (precisão, tempo de processamento, custo), os requisitos normativos mencionados, as barreiras e os facilitadores de implementação e os modelos teóricos de aceitação utilizados. Essas informações foram tabuladas e serviram de base para a construção dos quadros-síntese apresentados no artigo e para a definição dos requisitos que orientaram a elaboração das diretrizes.

Cabe registrar, por fim, algumas limitações do procedimento adotado. A busca realizada no Google Scholar, embora abrangente, está sujeita à inclusão de resultados duplicados ou de qualidade heterogênea; tais inconsistências foram mitigadas pela triagem manual. A cobertura de bases regionais, como o SciELO, teve caráter complementar, uma vez que a maioria da literatura especializada em forense digital se encontra em periódicos internacionais indexados nas bases consultadas.