



**SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA
COORDENADORIA DE ENSINO – COE
COORDENAÇÃO DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO DE
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO EM SEGURANÇA PÚBLICA**

MURILO TOSCANO DE CARVALHO

**LAUDO VIRTUAL: Arquitetura documental composta para representação digital
integrada da prova pericial**

GOIÂNIA – GO

2026



MURILO TOSCANO DE CARVALHO

**LAUDO VIRTUAL: Arquitetura documental para representação digital integrada da
prova pericial**

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

LAUDO VIRTUAL: Arquitetura documental para representação digital integrada da prova pericial

VIRTUAL REPORT: A Document Architecture for the Integrated Digital Representation of Forensic Evidence

Aluno (a)¹: Murilo Toscano de Carvalho
Orientador (a)²: Thiago Henrique da Costa Silva

Resumo: A produção da prova pericial evoluiu tecnicamente, em recursos de captura, resolução e representação tridimensional, mas a estrutura documental do laudo pericial permaneceu, em larga medida, inalterada diante dessa evolução, configurando-se como documento linear diante de objetos digitais que, por natureza, não o são. Diante dessa lacuna, este trabalho propõe uma arquitetura documental e conceitual para o Laudo Virtual, compreendido como um documento pericial digital composto que integra, sob um único regime de autoria, laudo textual, objetos digitais heterogêneos (fotografias, vídeos, modelos tridimensionais, ambientes navegáveis), metadados e mecanismos de verificação de integridade. Trata-se de pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa, conduzida por meio de revisão narrativa da literatura, pesquisa documental com principal foco na abordagem de *Design Science Research*. Como resultado, propõe-se uma arquitetura organizada em cinco camadas: documento principal, objetos digitais, metadados, segurança e visualização, acompanhada de prova de conceito e projeto-piloto para implementação. Conclui-se que a separação conceitual entre o documento pericial e a infraestrutura que o sustenta constitui contribuição replicável para a integração de objetos digitais heterogêneos à documentação pericial oficial, ainda que sua efetividade comunicativa e sua viabilidade institucional dependam de validação empírica futura.

Palavras-chave: Perícia Criminal; Cadeia de Custódia Digital; Arquitetura Documental; Laudo Virtual; Preservação Digital;

Abstract: Forensic evidence production has evolved technically — in terms of capture capabilities, resolution, and three-dimensional representation — yet the documentary structure of the forensic report has remained largely unchanged in the face of this evolution, taking the form of a linear document confronted with digital objects that are not linear by nature. In light of this gap, this study proposes a documentary and conceptual architecture for the Virtual Forensic Report, understood as a composite digital forensic document that integrates, under a single authorship regime, a textual report, heterogeneous digital objects (photographs, videos, three-dimensional models, navigable

¹ Perito Criminal de 2ª Classe, vinculado à Diretoria Geral de Polícia Científica, formação acadêmica em Ciências Biológicas, mestre em Engenharia de Produção, atualmente é coordenador do Grupo de atuação em Perícias Especiais

² Doutor em agronegócio, doutorando e Mestre em direito agrário pela UFG, graduado em direito e economia, com especialização em direito público, penal e perícia contábil. Perito Criminal de classe especial, com lotação no Posto de Atendimento da 4ª Regional de Polícia Científica de Caldas Novas e professor da UEG.

environments), metadata, and integrity-verification mechanisms. This is applied, qualitative research, conducted through a narrative literature review and documentary research, with a primary focus on the Design Science Research approach. As a result, an architecture organized into five layers is proposed — main document, digital objects, metadata, security, and visualization — accompanied by a proof of concept and a pilot implementation project. It is concluded that the conceptual separation between the forensic document and the infrastructure that supports it constitutes a replicable contribution toward integrating heterogeneous digital objects into official forensic documentation, although its communicative effectiveness and institutional feasibility depend on future empirical validation.

keywords: Criminal Forensics; Digital Chain of Custody; Information Management; Virtual Forensic Report; Digital Transformation.

1 INTRODUÇÃO

A transformação digital tem promovido profundas mudanças na Administração Pública, modificando a forma como informações são produzidas, armazenadas, compartilhadas e utilizadas no contexto dos serviços públicos. Mais do que a simples informatização de procedimentos, esse processo envolve a integração de tecnologias digitais aos processos organizacionais, visando maior eficiência, transparência e segurança da informação. Órgãos responsáveis pela produção do conhecimento técnico-científica, como as polícias científicas, também são chamados a modernizar seus métodos de documentação pericial, preservando os princípios legais que norteiam a produção da prova pericial.

Paralelamente, observa-se uma rápida evolução das tecnologias aplicadas à documentação de locais de crime. Recursos como fotografia panorâmica em 360°, *tours* virtuais, fotogrametria, escaneamento tridimensional, modelos 3D e vídeos de alta resolução permitem registrar vestígios com elevado grau de detalhamento ou fidelidade espacial. Tais recursos, contudo, normalmente podem permanecer desvinculados do laudo pericial propriamente dito, sendo utilizados apenas como material complementar, sem integração padronizada ao produto pericial oficial nem forma consistente de disponibilização aos destinatários finais do laudo. A produção da prova pericial evoluiu tecnicamente, mas a estrutura documental do laudo permaneceu, em larga medida, inalterada diante dessa evolução, permanecendo um documento linear em face de objetos digitais que, por natureza, não o são.

Do ponto de vista acadêmico, há escassez de estudos que examinem essa lacuna a partir dos três eixos que a sustentam: a função comunicativa do laudo perante destinatários sem formação

técnica, a assimetria entre a evolução dos objetos digitais produzidos e a estrutura documental que os deveria representar, e as exigências de autenticidade, preservação e cadeia de custódia aplicáveis a esse conteúdo. Falta, sobretudo, uma arquitetura documental capaz de integrar formalmente esses componentes.

Diante desse contexto, o presente estudo busca responder ao seguinte problema de pesquisa: quais componentes documentais, técnicos, arquivísticos e de cadeia de custódia devem integrar um modelo conceitual de Laudo Virtual aplicável à perícia criminal? O objetivo geral consiste em propor uma arquitetura documental composta para o Laudo Virtual como instrumento de representação digital integrada da prova pericial. Como objetivos específicos, pretende-se: discutir o laudo pericial como instrumento de comunicação da prova; analisar a evolução da documentação pericial em ambiente digital; sistematizar os fundamentos de autenticidade, preservação e cadeia de custódia aplicáveis; e apresentar um modelo de arquitetura, em camadas, compatível com essas exigências. Espera-se que a arquitetura proposta amplie o potencial de inteligibilidade da prova e fortaleça a cadeia de custódia digital, hipóteses que, no entanto, não são testadas empiricamente neste trabalho.

A contribuição deste estudo está em propor uma arquitetura documental replicável, não uma plataforma ou sistema específico, capaz de orientar tanto a adoção de soluções comerciais quanto o desenvolvimento institucional próprio, independentemente do fabricante ou da tecnologia de captura empregados. Para alcançar os objetivos propostos, o artigo está estruturado em seções que abordam os fundamentos da representação digital da prova pericial, examinando a comunicação da prova, a evolução da documentação em ambiente digital e a autenticidade, preservação e cadeia de custódia (seção 2); a metodologia empregada (seção 3); os resultados, englobando a arquitetura do Laudo Virtual, seus princípios, camadas, funcionamento, comparação estrutural com o laudo convencional e prova de conceito (seção 4); a discussão dos resultados e as limitações do trabalho (seção 4); e, por fim, as considerações finais (seção 6).

2 REVISÃO DA LITERATURA

A representação digital da prova pericial pode ser compreendida a partir de três eixos complementares. O primeiro trata do laudo como instrumento de comunicação da prova,

examinando sua função perante os diversos destinatários do conhecimento técnico-científico produzido. O segundo aborda a evolução histórica dos meios de documentação pericial, da fotografia analógica aos modelos tridimensionais e aos ambientes imersivos. O terceiro reúne os fundamentos de autenticidade, preservação e cadeia de custódia aplicáveis ao documento digital. A articulação entre esses três eixos evidencia uma lacuna: os meios de captura e representação da prova evoluíram substancialmente, mas a estrutura documental do laudo não acompanhou essa transformação na mesma medida, permanecendo um documento essencialmente como se era produzido há anos atrás.

2.1 O laudo pericial como instrumento de comunicação da prova

O laudo pericial não se esgota no registro técnico realizado: constitui, sobretudo, um instrumento de comunicação da prova entre o perito e os diversos destinatários do conhecimento produzido (delegados de polícia, magistrados, membros do ministério público e demais partes do processo) em regra sem formação técnica na área examinada. Saferstein (1994) destaca que a utilidade da prova técnico-científica depende diretamente da capacidade do perito tornar inteligíveis, a um público leigo, achados obtidos por meio de instrumentos e metodologias especializados. Na mesma direção, Osterburg e Ward (2010) situam a documentação do local de crime como etapa indissociável da investigação, cuja qualidade condiciona diretamente a compreensão posterior dos fatos por quem não presenciou o exame pericial.

Fisher e Fisher (2012) destacam que a documentação do local de crime deve registrar de maneira sistemática as condições encontradas e a posição dos vestígios, permitindo que aspectos relevantes da cena sejam posteriormente examinados e compreendidos por profissionais que não acompanharam diretamente o levantamento pericial. Essa finalidade exige que o registro reúna precisão técnica e adequada capacidade de representação do ambiente examinado. Houck e Siegel (2015), por sua vez, situam a comunicação dos resultados no próprio percurso da atividade forense, que se inicia no local de crime e se completa com a interpretação e a apresentação da evidência no âmbito do sistema de justiça.

Tocchetto e Espíndula (2019), na obra de referência da criminalística brasileira sobre procedimentos e metodologias periciais, reforçam essa perspectiva ao estabelecerem a estrutura mínima exigida do laudo pericial, cuja padronização visa justamente garantir a compreensão do

documento pelos diversos destinatários da prova técnico-científica. Aliás, a própria Secretaria Nacional de Segurança Pública – SENASP (2024), descreve a estrutura textual básica do laudo pericial.

Para sustentar teoricamente essa função comunicativa, recorre-se ao conceito de documento proposto por Buckland (1997), para quem um documento não se define por seu suporte físico, mas por sua função de evidência — qualquer objeto capaz de servir como prova de um fato, quando organizado e interpretado com essa finalidade, qualifica-se como documento. Essa definição amplia a compreensão tradicional do laudo pericial: fotografias, vídeos, modelos tridimensionais e ambientes navegáveis, quando reunidos e vinculados a uma finalidade probatória comum, não são meros anexos ao laudo textual, mas partes constitutivas de um mesmo sistema documental.

Compreendido dessa forma, o laudo pericial configura-se como um sistema de comunicação da prova: sua eficácia não depende exclusivamente da precisão técnica do exame realizado, mas também da forma como esse conhecimento é organizado, estruturado e tornado inteligível a destinatários sem formação especializada.

2.2 Evolução da documentação pericial em ambiente digital

Dentre as tecnologias disponíveis, a fotografia consolidou-se, a partir do final do século XIX, como o principal instrumento de documentação técnico-científica de locais de crime, empoderando descrições exclusivamente textuais e desenhos manuais. Seu objetivo era proporcionar ao tribunal uma representação objetiva dos fatos observados (Bell, 2018). Contudo, a natureza bidimensional da fotografia sempre impôs limitações à representação espacial da cena, posteriormente estendidas à videografia forense utilizada como recurso complementar de documentação (Spira, 2024). Contudo, observar-se ainda que as perícias oficiais brasileiras sequer sistematizaram metodologias para obtenção de registros em vídeo. Gardner e Krouskup (2019), ao abordarem os procedimentos práticos de documentação da cena, destacam a necessidade de que os registros fotográficos preservem não apenas as características individuais dos vestígios, mas também sua relação com o ambiente examinado. Registros excessivamente fragmentados ou desprovidos de fotografias de orientação podem dificultar a compreensão posterior da disposição espacial do local de crime.

Estudos recentes demonstram que imagens bidimensionais e laudos tradicionais apresentam restrições na representação de relações espaciais complexas (kreitmeier et al., 2026), impulsionando a adoção de tecnologias tridimensionais, como escaneamento a laser, luz estruturada e fotogrametria. A revisão sistemática realizada por Maneli e Isafiade (2022), identificou o uso crescente de tecnologias imersivas, com predominância da realidade virtual e evidências tratadas com *scanners LiDAR*. De forma semelhante, Balbudhe *et al.* (2025), em revisão de objetivos, concluíram que tecnologias digitais tridimensionais vêm sendo incorporadas como recursos complementares ou alternativos em determinadas aplicações.

Silva (2026) compara cinco tecnologias de reconstrução tridimensional, a saber: fotogrametria, escaneamento a laser terrestre, sistemas RGB-D, *Gaussian Splatting* e *Neural Radiance Fields* (NeRF) — concluindo que o TLS (escaneamento) permanece como a solução de maior precisão métrica, embora apresente elevado custo de aquisição (R\$ 309 mil e R\$ 490 mil). Em contrapartida, técnicas baseadas em inteligência artificial, como *Gaussian Splatting* e *NeRF*, oferecem elevado fotorrealismo e rapidez de processamento, porém ainda apresentam limitações quanto à acurácia geométrica e à extração de malhas tridimensionais precisas. O autor conclui que não existe tecnologia universalmente superior, sendo a escolha condicionada às necessidades específicas de cada exame pericial, com tendência à adoção de soluções híbridas.

Quadro 1 — Tecnologias disponíveis para utilização na perícia

Tecnologia	Produto gerado	Características	Referência
Fotografia 2D tradicional	Imagens planas isoladas	Baixo peso de arquivo; sem informação espacial de profundidade	Kreitmeier et al. (2026)
Fotografia 360° / tour virtual	Panorama equirretangular navegável	Arquivo de imagem único de alta resolução; leve para difusão e visualização remota	Maneli; Isafiade (2022)
Fotogrametria (SfM)	Nuvem de pontos / malha 3D (mesh)	Milhares a milhões de vértices; processamento intensivo, exatidão de mm a cm	Sazaly; Ariff; Razali (2023)
LiDAR portátil (smartphone)	Nuvem de pontos de menor densidade	Captura em minutos; erro médio $\approx 0,10\text{--}0,12\text{ m}$; arquivo mais leve	Sheshtar et al. (2025)
Escaneamento a laser terrestre (TLS)	Nuvem de pontos densa e georreferenciada	Milhões de pontos por estação; alta exatidão (mm); arquivos pesados; custo de	Sazaly; Ariff; Razali (2023); Silva (2026)

Tecnologia	Produto gerado	Características	Referência
		aquisição entre R\$ 309 mil e R\$ 490 mil no Brasil	
Gaussian Splatting e NeRF	Nuvem de elipsoides gaussianos ou representação neural implícita, fotorrealista	Renderização em tempo real; treinamento em minutos; exatidão geométrica ainda inferior ao TLS e extração de malha não trivial	Silva (2026)

Fonte: Produzido pelo autor.

O quadro representa as principais tecnologias de interesse forense, com a principal entrega como natureza de produto e características.

2.3 Autenticidade, Preservação Digital e Cadeia de Custódia da documentação digital

A integração de objetos digitais heterogêneos — fotografias, vídeos, modelos tridimensionais, ambientes navegáveis — em um único documento pericial não é apenas um desafio de organização visual, mas impõe exigências específicas de autenticidade, preservação e rastreabilidade, sob pena de comprometer o próprio valor probatório do conjunto. Buckland (1997), cuja definição de documento já fundamentou a discussão da seção 2.1, também alerta que a função evidencial de um objeto documental depende da possibilidade de verificar sua proveniência e integridade ao longo do tempo — exigência que se torna mais crítica, e não menos, quanto maior a diversidade de formatos reunidos sob um mesmo documento composto.

A gestão da informação aplicada à atividade pericial fundamenta-se nos princípios estabelecidos pela ISO 15489-1 (2016), que disciplina a criação, captura e gestão de documentos ao longo de todo o seu ciclo de vida, abrangendo metadados, responsabilidades e mecanismos de controle, independentemente do suporte utilizado. No Brasil, esses princípios são operacionalizados pelo e-ARQ Brasil 2.0 (Resolução conarq nº 50/2022), que define os requisitos para os Sistemas Informatizados de Gestão Arquivística de Documentos (Sigad). O próprio e-ARQ reconhece, entretanto, que documentos imagéticos e audiovisuais exigem metadados específicos ainda não contemplados de forma abrangente (Conarq, 2022), lacuna que se acentua quando o objeto documental deixa de ser uma fotografia convencional e passa a incorporar nuvens de pontos, modelos tridimensionais ou ambientes imersivos navegáveis.

A preservação em longo prazo desses documentos é tratada internacionalmente pelo Modelo OAIS (Iso 14721), que organiza o processo em funções de ingestão, armazenamento, gestão de dados, preservação e acesso. Thibodeau (2002) destaca que a obsolescência tecnológica é inevitável, exigindo estratégias de migração, emulação ou normalização de formatos — questão crítica para objetos digitais tridimensionais, cujos formatos frequentemente dependem de soluções proprietárias sujeitas à descontinuação. No Brasil, tais requisitos são complementados pelo Repositório Arquivístico Digital Confiável (RDC-Arq, Resolução CONARQ nº 51/2023), voltado à autenticidade, confidencialidade e disponibilidade de acervos digitais em longo prazo.

Duranti (2009) diferencia a integridade do conteúdo da integridade de duplicação, distinção relevante quando um mesmo objeto digital é reproduzido em diferentes visualizadores ou dispositivos, podendo gerar variações de renderização sem alteração do conteúdo original. Duranti e Endicott-Popovsky (2010) propõem a integração entre diplomática digital, arquivologia e computação forense no campo do *Digital Records Forensics*, reforçando que a autenticidade documental não é atributo estático, mas resultado de um conjunto verificável de controles ao longo de todo o ciclo de vida do documento. No Brasil, essa garantia é reforçada pela ICP-Brasil (Medida Provisória nº 2.200-2/2001), complementada, na prática pericial, por padrões técnicos concretos, como o *hash* criptográfico SHA-256 para verificação de integridade.

A cadeia de custódia dos vestígios físicos é disciplinada pelos arts. 158-A a 158-F do Código de Processo Penal (Lei nº 13.964/2019). Para evidências digitais, esse conjunto é complementado pela família de normas ISO/IEC 27037, 27041, 27042 e 27043, que estabelece diretrizes de identificação, coleta, preservação, análise e interpretação, destacando auditabilidade, repetibilidade, reprodutibilidade e justificabilidade dos procedimentos. Em âmbito estadual, observa-se descompasso entre esse arcabouço federal e a regulamentação vigente em Goiás. A gestão documental do Executivo estadual é disciplinada pela Lei nº 16.226/2008 e operacionalizada pela IN nº 04/2013-SEGPLAN, que tratam exclusivamente de tipologias documentais administrativas convencionais, sem previsão para vestígios periciais digitais complexos e sem menção aos instrumentos mais recentes do CONARQ (e-ARQ 2.0 e RDC-Arq).

A convergência desses três eixos — a função comunicativa do laudo, a expansão dos objetos digitais produzidos sem acompanhamento estrutural do documento e as exigências de autenticidade, preservação e cadeia de custódia aqui discutidas — evidencia que a integração desses objetos não pode ocorrer de forma *ad hoc*, por simples anexação ao laudo tradicional. É

necessária uma arquitetura documental capaz de organizar formalmente esses componentes heterogêneos sob um único regime de autoria, integridade e preservação, questão que orienta a proposta desenvolvida na seção 4.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa possui natureza qualitativa e aplicada, fundamentando-se na abordagem de *Design Science Research (DSR)*, além de revisão narrativa bibliográfica e pesquisa documental. A revisão da literatura subsidiou a identificação das limitações dos modelos tradicionais de documentação pericial e dos requisitos necessários à proposição de um modelo conceitual de Laudo Virtual. Complementarmente, foi realizada pesquisa documental, conforme Bowen (2009), utilizando normas técnicas, legislação e documentos institucionais como fontes primárias de informação. Não houve coleta de dados junto a participantes.

Sob a perspectiva da DSR (Hevner *et al.*, 2004), o estudo tem como objetivo projetar um produto conceitual, sendo a matriz da concepção dos resultados. O trabalho contempla as etapas de identificação do problema, definição dos objetivos da solução e desenvolvimento do modelo proposto, conforme o processo descrito por Peffers *et al.* (2007).

A relação documental analisa a compreensão de três conjuntos principais de documentos: a) os Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) da Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP), especialmente aqueles relacionados aos exames em locais de crime; b) modelos consolidados de laudos periciais utilizados na prática forense e sua estrutura documental; e c) normas técnicas e legislação aplicáveis à preservação de documentos digitais, autenticidade, integridade e cadeia de custódia.

4 RESULTADOS

Serão apresentados os conceitos e princípios do laudo virtual (4.1), sua arquitetura e o fluxo de produção e manifesto de integridade (4.2 e 4.3); a prova de conceito e funcionamento desenvolvida (4.4) e um proposta de projeto piloto de implementação (4.5). Os apêndices reúnem a comparação do laudo convencional e virtual e a matriz de rastreabilidade do modelo conceitual.

4.1 Conceito e princípios

Define-se o Laudo Virtual como um documento pericial digital composto, formado pelo documento textual, objetos digitais heterogêneos, metadados e mecanismos de verificação de integridade, reunidos sob um único processo de autoria, assinatura e preservação. Não o substitui o laudo tradicional, mas o amplia estruturalmente, preservando a estrutura já validada pelos POPs da SENASP.

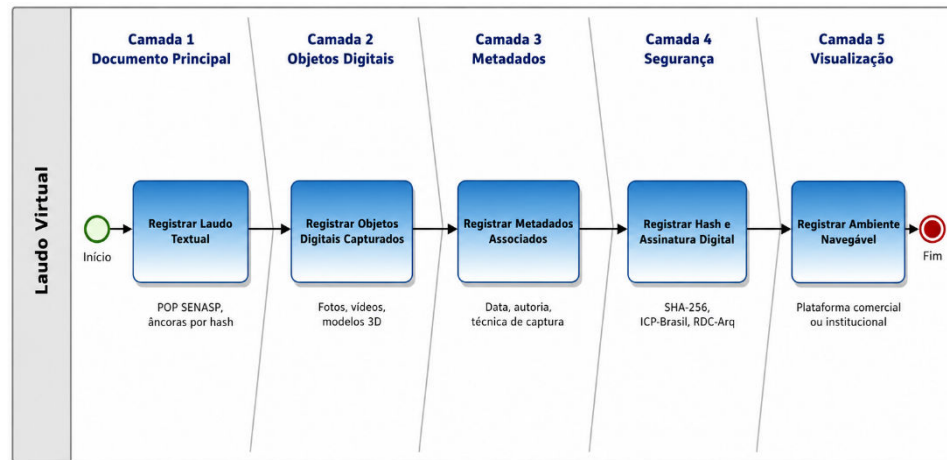
A arquitetura é orientada por seis princípios: modularidade (diferentes produtos virtuais de diferentes técnicas são produzidos e reunidos com fluidez); interoperabilidade (formatos exportáveis, sem aprisionamento tecnológico); rastreabilidade (vínculo verificável de cada objeto com sua origem); autenticidade (verificação de que o conteúdo corresponde ao produzido pelo perito, via assinatura do laudo tradicional que contém os *hashs* dos produtos virtuais); preservação (continuidade de acesso independente da obsolescência de formatos, conforme OAIS/RDC- Arq); e inteligibilidade (compreensão do documento sem conhecimento técnico especializado).

4.2 Arquitetura do Laudo Virtual

A arquitetura organiza-se em cinco camadas (figura 1): a camada 1, com documento principal tradicional, que possui elementos remissivos aos Pontos de Interesse (POI) do laudo virtual, além das remissões às fotografias, como tradicionalmente já o faz. A metodologia dos exames do laudo tradicional passaria a mencionar explicitamente a técnica de imersão e o método de captura empregado, enquanto a descrição do local e dos exames no laudo tradicional, apoiada em fotografias estáticas e croqui, passa a remeter, por meio de âncoras e *links* identificados por *hash*, ao ambiente navegável correspondente do laudo virtual. As fotografias bidimensionais passariam a compor também o produto virtual, podendo ser baixadas em alta resolução e sendo inseridas em pontos de interesse ou *hotspots*. As considerações técnico-periciais continuariam analisadas em ambos os laudos (virtual e tradicional). A camada 2, que compõe os objetos digitais, registros heterogêneos capturados no local de crime: fotografias, vídeos, modelos tridimensionais, panoramas. Os metadados compõe a camada 3, e identificam e contextualizam cada objeto, ao passo que a camada 4 é destinada à segurança, garantindo a integridade por *hash* SHA-256 (ou 512) em dois níveis: de cada objeto digital individualmente e do conjunto integrado como um todo, além da autenticidade (assinatura ICP-Brasil) e custódia; por fim, a camada 5 (visualização) é o

ambiente navegável, seja comercial ou institucional, que os unifica. A distinção entre dado original, produto processado, anotação do perito e reconstrução é detalhada nos apêndices.

Figura 1 — Arquitetura em camadas do laudo virtual



Fonte: Produzido pelo autor.

4.3 Manifesto de integridade dos arquivos

O manifesto de integridade consiste em um registro formal gerado na camada 4 da arquitetura, correspondente à segurança da informação, destinado a relacionar cada objeto digital integrante do Laudo Virtual ao respectivo valor de hash e ao elemento remissivo utilizado para acessá-lo. Esse registro constitui instrumento essencial para a verificação de integridade, assinatura digital e preservação do conjunto documental. O cálculo do hash deve incidir sobre cada objeto digital capturado ou produzido, como fotografias 360°, modelos tridimensionais, arquivos de áudio, vídeos ou outros ativos digitais, e não sobre cada Ponto de Interesse (POI) de forma isolada. Assim, um único objeto poderá conter diversos POIs, todos abrangidos pela verificação conjunta do arquivo por meio de seu *hash*. Recomenda-se que o manifesto seja estruturado em formato legível por máquina, como JSON ou XML, compatível com os padrões de metadados previstos no e-ARQ Brasil, acompanhado de representação tabular destinada à conferência humana, conforme sintetizado no Quadro 2 (são *hashs* fictícios).

Quadro 2 – modelo de registro de integridade

ID do objeto	técnica de captura	POIs associados	Elemento remissivo (link direto)	Hash (SHA-256)
Imagem 01	Panorama 360°	POI-04 a POI-07	tour.html#node2	7f3a9c...e21b
Arma de fogo	Modelo 3D (fotogrametria)	POI-05	modelo3d.html?media-index=1	b48d21...9f0a

Fonte: Produzido pelo autor.

4.4 Prova de conceito e funcionamento

Para demonstrar a viabilidade técnica da arquitetura, foram desenvolvidos protótipos correspondentes a três das cinco camadas: um protótipo de navegação (camada 5), evidenciando a vinculação entre POI e documento principal por meio de elementos remissivos; um documento principal (camada 1), mantendo-se integralmente em ambas as camadas os critérios do POP nº 6.01 da SENASP (2024) e acrescentando elementos remissivos de forma aditiva, sem suprimir texto ou anexo fotográfico já existente; e um print demonstrativo do cálculo e verificação de hash.

Figura 2 — Protótipo de navegação do laudo virtual com tópicos correspondentes ao tradicional



ou <https://laudovirtualcegesp.netlify.app/>

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 3 — laudo tradicional com remissões fictícias ao Laudo Virtual.

6.2.1 LOCAL MEDIATO E IMEDIATO

O local mediato é a residência situada na Rua c-165, Quadra 326, Lote 19, Jardim América, Casa 2, em Goiânia/GO. Os locais imediatos consistem na garagem (pavimento térreo) e no escritório (pavimento superior), onde se localizaram as vítimas e os vestígios associados.

Garagem (vestígios 1 a 10):

- a) Vestígio 1 – Mancha de sangue por gotejamento, localizada sobre o revestimento cerâmico da garagem, formando trilha linear desde a entrada até a área adjacente à vítima 1. A morfologia da mancha indica deslocamento ativo da vítima após o ferimento torácico (Imagem 05 a 07) (*Laudo Virtual: [https://laudovirtualcegesp.netlify.app/?media-name=\[CENA-GARAGEM\]&trigger-overlay-name=VESTIGIO1](https://laudovirtualcegesp.netlify.app/?media-name=[CENA-GARAGEM]&trigger-overlay-name=VESTIGIO1)*)

Fonte: Produzido pelo autor.

A viabilidade prática do modelo independe de uma única tecnologia de captura entre as discutidas no Quadro 1. A arquitetura documental proposta comportam as técnicas supramencionadas, cabendo à camada de edição descrita na seção 4.3 unificar esses diferentes insumos em um único ambiente navegável, e ao sistema descrito na seção 4.4 assegurar a integridade e a rastreabilidade de cada artefato produzido, independentemente da técnica empregada.

4.5 Projeto Piloto de Implementação

A implementação inicial da arquitetura proposta deverá ocorrer por meio de exames de reprodução simulada dos fatos, popularmente denominados reconstituições. A escolha dessa modalidade pericial não significa a utilização de cenários fictícios ou desvinculados de ocorrências concretas. A reprodução simulada constitui exame oficial realizado no contexto de investigação criminal ou de processo penal, destinado a esclarecer dúvidas, verificar a compatibilidade entre versões e analisar possíveis inconsistências relacionadas à dinâmica dos fatos.

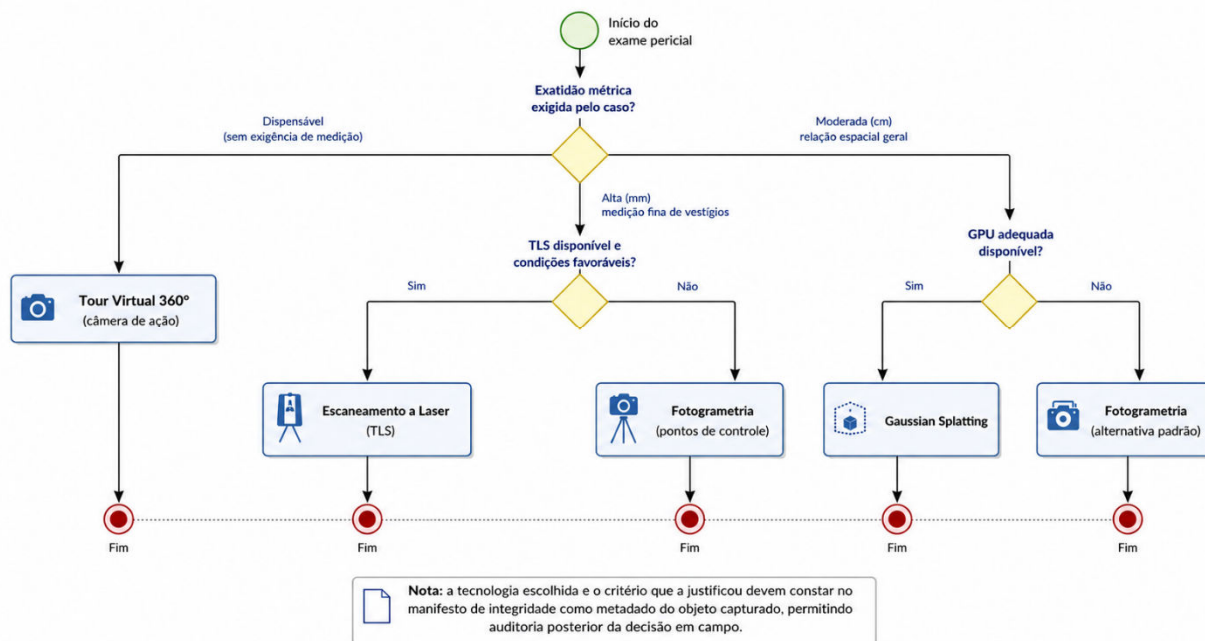
Esses exames podem ser requisitados pela autoridade policial durante a investigação ou determinados no curso do processo penal, de modo a subsidiar tecnicamente a atuação do Ministério Público, do Poder Judiciário e das partes. Sua realização envolve a reprodução

controlada de posições, deslocamentos, trajetórias, ações e demais circunstâncias relevantes, confrontando as narrativas apresentadas com os vestígios materiais, os registros documentais e as características físicas do local.

A reprodução simulada apresenta condições particularmente adequadas para o desenvolvimento do projeto piloto, pois permite planejamento prévio da captura, definição dos pontos de registro, organização das versões a serem representadas e acompanhamento integral das etapas de produção do Laudo Virtual. Diferentemente do atendimento inicial de um local de crime, em que as condições ambientais e operacionais são frequentemente imprevisíveis, a reprodução simulada possibilita testar a arquitetura em um exame real, porém metodologicamente controlado.

Além da complexidade do caso, a seleção da técnica de captura deverá considerar a finalidade representacional do exame, o grau de exatidão métrica necessário, as condições do ambiente e a disponibilidade institucional de equipamentos e recursos computacionais. Para padronizar essa escolha, propõe-se o fluxo da Figura 04.

Figura 4 — Fluxo para implementação de ferramentas do Laudo Virtual



Fonte: Produzido pelo autor.

O piloto deverá ser desenvolvido de forma progressiva, iniciando-se por reproduções de menor complexidade e avançando para exames com maior número de participantes, versões divergentes, múltiplos ambientes, trajetórias, deslocamentos e relações espaciais relevantes. A

classificação da complexidade do caso e a decisão quanto à incorporação do núcleo imersivo deverão observar o fluxo.

Conforme o fluxo apresentado na Figura 4, a primeira decisão técnica consiste em identificar o nível de exatidão métrica exigido pelo caso. Quando a medição dimensional for dispensável e o objetivo principal consistir na contextualização visual do ambiente e na navegação espacial, recomenda-se a utilização de tour virtual produzido por câmera 360°.

Nos casos em que se exige elevada exatidão, com medições finas de vestígios em escala milimétrica, o escaneamento terrestre a laser, por meio de TLS, configura a alternativa prioritária, desde que o equipamento esteja disponível e que as condições de captura sejam favoráveis. Na ausência do TLS, recomenda-se a fotogrametria com emprego de pontos de controle, de modo a ampliar a confiabilidade geométrica do modelo produzido.

Quando a demanda envolver exatidão moderada, em escala centimétrica, e o objetivo estiver relacionado à representação espacial geral do ambiente, a escolha poderá recair sobre Gaussian Splatting, desde que haja unidade de processamento gráfico compatível para o tratamento dos dados. Na indisponibilidade de GPU adequada, a fotogrametria deverá ser adotada como alternativa institucional padrão.

A progressão tecnológica do piloto deverá refletir a capacidade instalada. O tour virtual por câmera 360° e a fotogrametria, inclusive aquela realizada com dispositivos móveis dotados de sensor LiDAR, já se encontram disponíveis e poderão compor as primeiras etapas. O *Gaussian Splatting* dependerá da disponibilidade de estação de trabalho com GPU mais robusta. O escaneamento terrestre a laser permanecerá condicionado à futura aquisição institucional do equipamento, não sendo previsto como recurso ordinário no estágio inicial do piloto.

A tecnologia selecionada e o critério que fundamentou sua escolha deverão ser registrados no manifesto de integridade como metadados do objeto digital capturado. Esse procedimento permitirá reconstruir e auditar posteriormente a decisão técnica realizada em campo, relacionando a finalidade do exame, a exigência de exatidão, a tecnologia empregada e o respectivo arquivo incorporado ao Laudo Virtual.

Para cada reprodução simulada serão registrados, no mínimo, o tempo de captura e processamento, o tempo total de produção, a taxa de sucesso na vinculação entre pontos de interesse e elementos remissivos, o número de falhas de integridade, o desempenho da tecnologia selecionada e sua capacidade de representar as versões examinadas.

Os resultados obtidos permitirão comparar diferentes níveis de complexidade e tecnologias de captura, fornecendo elementos objetivos para avaliar a viabilidade de ampliação da arquitetura para outras modalidades de exames periciais.

Um objetivo complementar do piloto, sem constituir resultado previamente assumido, será examinar quais parcelas da redação densa do laudo tradicional poderiam ser reduzidas ou substituídas por elementos remissivos diretos, vinculados ao Laudo Virtual ou às fotografias correspondentes constantes do anexo fotográfico. Essa possibilidade deverá ser analisada de forma gradual, preservando-se a autonomia, a clareza, a suficiência e a capacidade de compreensão do documento pericial, não constituindo premissa obrigatória da arquitetura proposta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto busca enfrentar a fragmentação da representação dos locais de crime decorrente do uso predominante de recortes fotográficos sucessivos, sem promover uma ruptura abrupta com os procedimentos periciais já consolidados. A contribuição central deste trabalho reside, portanto, no desenho de uma arquitetura documental híbrida, na qual o núcleo imersivo e interativo é incorporado a uma estrutura textual compatível com os modelos de laudo e com os Procedimentos Operacionais Padrão da SENASP. Essa preservação da lógica documental vigente tende a favorecer a assimilação institucional da proposta, ao mesmo tempo que amplia as possibilidades de representação espacial e de comunicação dos achados periciais.

A adoção de uma estrutura compatível com os procedimentos já validados também responde a um desafio recorrente da inovação em serviços públicos regulados: introduzir novas capacidades técnicas sem comprometer a segurança jurídica, a padronização, a rastreabilidade e a continuidade dos fluxos administrativos. Nesse sentido, o modelo não propõe a substituição imediata do laudo tradicional, mas sua ampliação por meio de elementos digitais remissivos, capazes de integrar texto, imagens, modelos tridimensionais e ambientes navegáveis. Essa estratégia preserva a autonomia do documento pericial e, simultaneamente, incorpora os ganhos de inteligibilidade, contextualização espacial e comunicação apontados pela literatura revisada.

A decisão sobre eventual desenvolvimento interno deverá, assim, ser tomada com base em evidências produzidas durante o projeto piloto, considerando aspectos como frequência de uso,

desempenho, segurança, interoperabilidade, custos de manutenção e adequação aos fluxos institucionais.

O Laudo Virtual, tal como definido neste trabalho, não se caracteriza por uma tecnologia específica de captura, mas por sua natureza de produto documental digital, imersivo e interativo. Sua composição poderá envolver imagens 360°, fotogrametria, escaneamento tridimensional, *Gaussian Splatting* ou a combinação dessas técnicas, selecionadas conforme a finalidade do exame, a exatidão requerida, as condições de campo e a capacidade tecnológica disponível. A técnica constitui, portanto, um meio de produção, enquanto o Laudo Virtual corresponde ao produto organizado, contextualizado e integrado à estrutura pericial.

A proposta também não estabelece hierarquia absoluta entre as diferentes tecnologias de captura. Cada solução apresenta vantagens, limitações e requisitos próprios, devendo sua escolha decorrer da necessidade concreta do exame, exercendo o perito sua autonomia. O valor do modelo reside justamente em permitir que diferentes objetos digitais sejam incorporados a uma mesma arquitetura documental, mantendo padrões comuns de vinculação, descrição, integridade, acesso e preservação.

Além da dimensão representacional, o trabalho destaca que a viabilidade do Laudo Virtual depende da existência de uma infraestrutura de custódia digital capaz de assegurar autenticidade, integridade, rastreabilidade e preservação dos objetos que o compõem. Caso os sistemas institucionais e processuais atualmente utilizados, como ODIN, Hórus e Projudi, não sejam adaptados para receber diretamente conteúdos imersivos e tridimensionais, será necessária uma solução complementar de armazenamento e acesso, devidamente integrada aos registros do laudo e aos mecanismos de cadeia de custódia.

A arquitetura apresentada deve ser compreendida como uma proposta passível de validação progressiva, e não como modelo definitivamente comprovado. Sua efetividade deverá ser avaliada por meio do projeto piloto com reproduções simuladas dos fatos, considerando indicadores de tempo de produção, estabilidade, integridade, usabilidade, capacidade de representação espacial e compreensão pelos destinatários. Também deverão ser examinados os impactos sobre a redação do laudo, especialmente quanto à possibilidade de reduzir descrições excessivamente densas mediante remissões diretas a elementos visuais e interativos, sem comprometer a suficiência técnica e a autonomia do documento.

Conclui-se, assim, que a inovação proposta não consiste apenas na introdução de imagens imersivas ou modelos tridimensionais na perícia criminal, mas na organização desses recursos como parte de um produto documental integrado, verificável e compatível com os requisitos da atividade pericial. O Laudo Virtual representa, nessa perspectiva, uma possibilidade de evolução gradual da comunicação técnico-científica, capaz de ampliar a inteligibilidade dos exames, fortalecer a rastreabilidade dos elementos digitais e aproximar a representação documental da complexidade espacial efetivamente encontrada nos locais e nas reproduções simuladas dos fatos.

REFERÊNCIAS

BALBUDHE, M.; SHETTY, B. S. K.; ARUN KUMAR, N.; SINGH, D.; SHEREKAR, A. I. **Crime scene reconstruction: a scoping review**. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, v. 15, n. 79, 2025. DOI: 10.1186/s41935-025-00495-5.

BELL, Amy. **Crime Scene Photography in England, 1895–1960**. *Journal of British Studies*, v. 57, p. 53-78, jan. 2018. DOI: 10.1017/jbr.2017.182.

BOWEN, G. A. **Document analysis as a qualitative research method**. *Qualitative Research Journal*, v. 9, n. 2, p. 27-40, 2009.

BRASIL. **Lei nº 13.964, de 24 de dezembro de 2019**. Aperfeiçoa a legislação penal e processual penal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2019.

BRASIL. **Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001**. Institui a Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira – ICP-Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001.

BUCKLAND, M. K. **What is a “document”?** *Journal of the American Society for Information Science*, v. 48, n. 9, p. 804-809, 1997.

CONARQ. **Resolução nº 50, de 3 de agosto de 2022**. Institui o e-ARQ Brasil 2.0. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022.

CONARQ. **Resolução nº 51, de 6 de dezembro de 2023**. Institui o Repositório Arquivístico Digital Confiável (RDC-Arq). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2023.

DURANTI, L. **From digital diplomatics to digital records forensics**. *Archivaria*, n. 68, p. 39-66, 2009.

DURANTI, L.; ENDICOTT-POPOVSKY, B. **Digital records forensics: a new science and academic program for forensic readiness**. *Journal of Digital Forensics, Security and Law*, v. 5, n. 2, p. 45-62, 2010.

FISHER, B. A. J.; FISHER, D. R. *Techniques of Crime Scene Investigation*. 8th ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 2012.

FUKUDA, H.; EBERT, L. C.; KREITMEIER, F.; EGGERT, S.; MEIXNER, E.; HOSOYA, T. et al. **From 3D surface documentation to visualization in forensic practice: a review of current methods and emerging technologies**. *APMIS*, v. 134, n. 4, art. e70215, 2026. DOI: 10.1111/apm.70215.

GARDNER, R. M.; KROUSKUP, D. *Practical Crime Scene Processing and Investigation*. 3. ed., CRC Press, 2021.

GOIÁS. **Lei nº 16.226, de 30 de dezembro de 2008**. Dispõe sobre os arquivos no âmbito estadual. Diário Oficial do Estado, Goiânia, 2008.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. **Instrução Normativa nº 04, de 14 de março de 2013**. Diário Oficial do Estado, Goiânia, 22 mar. 2013.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. **Design science in information systems research**. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HOUCK, M. M.; SIEGEL, J. A. *Fundamentals of Forensic Science*. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press/Elsevier, 2015. ISBN 9780128000373.

ISO 14721:2012. **Space data and information transfer systems: Open archival information system (OAIS) — Reference model**. Geneva: ISO, 2012.

ISO 15489-1:2016. **Information and documentation: Records management — Part 1: Concepts and principles**. Geneva: ISO, 2016.

ISO/IEC 27037:2012. **Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence**. Geneva: ISO/IEC, 2012.

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: 10.1109/ACCESS.2022.3199437.

OSTERBURG, J. W.; WARD, R. H. *Criminal Investigation: A Method for Reconstructing the Past*. 6th ed. New Providence, NJ: Anderson Publishing/LexisNexis, 2010. ISBN 978-1-4224-6328-4.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. **A design science research methodology for information systems research**. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

SAFERSTEIN, R. *Criminalistics: An Introduction to Forensic Science*. 5th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994. ISBN 0133078442.

SAZALY, A. N.; MOHD ARIFF, M. F.; RAZALI, A. F. **3D indoor crime scene reconstruction from micro UAV photogrammetry technique**. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, v. 13, n. 6, p. 12020-12025, 2023. DOI: 10.48084/etasr.6260.

SENASP. **Procedimentos Operacionais Padrão – Perícia Criminal: Local de Crime**, volume 6. Brasília: Ministério da Justiça e Segurança Pública, Secretaria Nacional de Segurança Pública, 2024.

SHESHTAR, F. M.; ALHATLANI, W. M.; MOULDEN, M.; KIM, J. H. **Comparative analysis of LiDAR and photogrammetry for 3D crime scene reconstruction**. *Applied Sciences*, v. 15, n. 3, art. 1085, 2025. DOI: 10.3390/app15031085.

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., 2026, San Miguel de Tucumán. Anais eletrônicos [...]. San Miguel de Tucumán: Asociación de Universidades del Grupo Montevideo, 2025. p. 189-209. Eje Ciencias Exactas, v. 9. ISSN 3121-2182.

SPIRA, Richard S. **Imaging in crime scene investigations**. *EBSCO Research Starters*, 2024. Disponível em: <https://www.ebsco.com/research-starters/applied-sciences/imaging-crime-scene-investigations>. Acesso em: 19 jul. 2026.

THIBODEAU, K. **Overview of technological approaches to digital preservation and challenges in coming years**. In: CLIR. *The state of digital preservation: an international perspective*. Washington, DC: CLIR, 2002.

TOCCHETTO, D.; ESPÍNDULA, A. *Criminalística: procedimentos e metodologias*. 4. ed. Campinas: Millennium Editora, 2019.

APÊNDICE A — Comparação Estrutural entre o Laudo Convencional e o Laudo Virtual

O Quadro A1 compara os dois modelos quanto a aspectos estruturais e documentais, não quanto a ganhos de desempenho, custo ou aceitação institucional, não avaliados empiricamente neste trabalho.

Quadro A1 — Comparação estrutural entre o laudo convencional e o Laudo Virtual

Aspecto	Laudo convencional	Laudo Virtual
Representação espacial da cena	Fotografias estáticas e croqui, inseridos no corpo do texto	Ambiente navegável (Camada 2), com POI referenciados por elementos remissivos no texto

Aspecto	Laudo convencional	Laudo Virtual
Relação entre texto e imagem	Imagem como anexo ou ilustração do texto	Vínculo formal por elemento remissivo e <i>hash</i> do objeto, rastreável (Camadas 1 e 4)
Metadados dos registros	Não padronizados, quando existentes	Estruturados por objeto digital (Camada 3)
Verificação de integridade	Não prevista de forma sistemática por arquivo	Hash individualizado por objeto e do conjunto integrado (Camada 4)

Fonte: Produzido pelo autor.

APÊNDICE B — Matriz de Rastreabilidade do Modelo Conceitual

O Quadro C1 sintetiza a trajetória de construção da arquitetura, evidenciando como cada componente do modelo responde a um problema concreto identificado na literatura (seção 2) ou na análise documental, ancorado em um fundamento teórico ou normativo específico, em conformidade com a abordagem de *Design Science Research* (seção 3).

Quadro B1 — Matriz de rastreabilidade do modelo conceitual

Problema identificado	Fundamento teórico/normativo	Requisito	Componente do modelo
Fragmentação da cena em registros isolados, sem relação espacial (seção 2.2)	Maneli e Isafiade (2022); Silva (2026)	Integrar registros 2D e 3D em ambiente navegável único	Camada 2 e Camada 5 (seção 4.2)
Ausência de vínculo formal entre laudo textual e objeto digital	Buckland (1997); e-ARQ Brasil 2.0	Vinculação rastreável entre texto e ambiente imersivo	Elemento remissivo (Camada 1, seção 4.2)
Risco de alteração de arquivos digitais após a captura	Duranti (2009); ICP-Brasil (MP nº 2.200-2/2001)	Verificação de integridade por objeto capturado	Hash SHA-256 em dois níveis (Camada 4)
Obsolescência de formatos proprietários de modelos 3D	Thibodeau (2002); Modelo OAIS (ISO 14721)	Independência de formatos e continuidade de acesso	CrITÉrios de preservação (Camada 4 e 5)
Ausência de metadados específicos para conteúdo imagético/audiovisual	e-ARQ Brasil 2.0 (CONARQ, 2022)	Metadados estruturados por objeto digital	Camada 3 (seção 4.2)

Problema identificado	Fundamento teórico/normativo	Requisito	Componente do modelo
Sistemas processuais legados incompatíveis com arquivos volumosos	ISO/IEC 27037 (cadeia de custódia digital)	Interoperabilidade ou custódia alternativa	Decisão de custódia (seção 4.5)

Fonte: Produzido pelo autor.