



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA (FCT)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
(PPGEP/FCT/UFG)

MURILO TOSCANO DE CARVALHO

**PERÍCIA 4.0:** desenvolvimento de *tours* virtuais como  
ferramenta integrada para inteligibilidade de exames de corpo de  
delito

APARECIDA DE GOIÂNIA  
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

**Exemplos:** Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

MURILO TOSCANO DE CARVALHO

#### 3. Título do trabalho

Perícia 4.0: DESENVOLVIMENTO DE TOURS VIRTUAIS COMO FERRAMENTA INTEGRADA PARA INTELIGIBILIDADE DE EXAMES DE CORPO DE DELITO

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

**[1]** Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Murilo Toscano De Carvalho, Discente**, em 18/06/2025, às 18:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Diogo de Souza Rabelo, Usuário Externo**, em 18/06/2025, às 20:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5407592** e o código CRC **0D8E4A03**.

---

MURILO TOSCANO DE CARVALHO

**PERÍCIA 4.0:** desenvolvimento de *tours* virtuais como ferramenta integrada para inteligibilidade de exames de corpo de delito

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Faculdade de Ciência e Tecnologia (FCT), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

**Área de Concentração:** Gestão Estratégica e Operacional da Produção

**Linha de Pesquisa:** Tecnologias em Processos e Produtos

**Orientador:** Prof. Dr. Diogo de Souza Rabelo

**Coorientador:** Prof. Dr. Pedro Henrique Gonçalves

APARECIDA DE GOIÂNIA

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Carvalho, Murilo Toscano de  
PERÍCIA 4.0 [manuscrito] : desenvolvimento de tours virtuais como ferramenta integrada para inteligibilidade de exames de corpo de delito / Murilo Toscano de Carvalho. - 2025.  
119, CXIX f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Diogo de Souza Rabelo; co-orientador Dr. Pedro Henrique Gonçalves.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Goiânia, 2025.  
Bibliografia. Apêndice.  
Inclui siglas, fotografias, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. local de crime. 2. Tour Virtual. 3. Fotografia Forense. 4. Fotografia 360°. 5. Realidade virtual. I. Rabelo, Diogo de Souza, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **58** da sessão de Defesa de Dissertação de **Murilo Toscano de Carvalho**, que confere o título de Mestre em **Engenharia de Produção**, na área de concentração em **Gestão Estratégica e Operacional da Produção**.

Aos vinte e dois dias do mês de maio de dois mil e vinte e cinco, a partir das 15h00, de forma virtual através da plataforma Google Meet, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “PERÍCIA 4.0: O USO DE TOURS VIRTUAIS COMO FERRAMENTA INTEGRADA E DE BAIXO CUSTO PARA INTELIGIBILIDADE DE EXAMES DE CORPO DE DELITO”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Diogo de Souza Rabelo (PPGEP/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Pedro Henrique Gonçalves (UFG), coorientador, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professor Doutor Thiago Henrique Costa Silva (PPGHIS/UEG e SPTC/GO), membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professor Doutor Fernando Nunes Belchior (PPGEP/UFG), membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência. Durante a arguição os membros da banca FIZERAM sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato APROVADO pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Diogo de Souza Rabelo, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e dois dias do mês de maio de dois mil e vinte e cinco.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

PERÍCIA 4.0: DESENVOLVIMENTO DE TOURS VIRTUAIS COMO FERRAMENTA INTEGRADA PARA INTELIGIBILIDADE DE EXAMES DE CORPO DE DELITO



Documento assinado eletronicamente por **Diogo de Souza Rabelo**, **Usuário Externo**, em 22/05/2025, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Nunes Belchior**, **Professor do Magistério Superior**, em 22/05/2025, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Goncalves**, **Professor do Magistério Superior**, em 23/05/2025, às 09:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Henrique Costa Silva**, **Usuário Externo**, em 23/05/2025, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5378634** e o código CRC **1C29AD2B**.

---

**Referência:** Processo nº 23070.023887/2025-42

SEI nº 5378634

**DEDICO O PRESENTE TRABALHO A MEU FILHO, FRANCISCO,  
E A ALINE, A BASE PARA QUE A CONCLUSÃO DESSE  
TRABALHO FOSSE POSSÍVEL.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha Instituição, Polícia Técnico-Científica de Goiás, à UFG, pela receptividade e ensinamentos aos estudantes nesse inovador convênio e aos professores do Programa e da UFG, em especial, ao meu orientador e Coorientador, pelos incentivos necessários para o término.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>15</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	18
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	18
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.3. JUSTIFICATIVA .....	19
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
2.1 INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E TÉCNICAS APLICADAS À PERÍCIA .....	24
2.1.1. REALIDADE VIRTUAL (RV), REALIDADE AUMENTADA (RA) E REALIDADE INTERATIVA (RI) .....	27
2.1.2 ESCANEAMENTO 3D .....	30
2.1.3 FOTOGRAMETRIA .....	36
2.1.4 IMPRESSÃO 3D .....	38
2.1.5 ANIMAÇÕES GRÁFICAS .....	40
2.2 FOTOGRAFIA FORENSE, <i>TOURS</i> VIRTUAIS, IMAGENS PANORÂMICAS, 360°, ESFÉRICA, EQUIRETANGULAR e OMNIDIRECIONAIS. ....	41
2.2.1 FOTOGRAFIA FORENSE .....	41
2.2.2 DIFERENÇAS ENTRE FOTOGRAFIA PANORÂMICA, 360°, ESFÉRICA, EQUIRETANGULAR E OMNIDIRECIONAL .....	43
2.3.3 TIPOS DIFERENTES DE FOTOGRAFIA 360° .....	46
2.3 <i>TOURS</i> VIRTUAIS .....	54
2.4 CRIPTOGRAFIA .....	58
<b>3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>60</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA CIENTÍFICA.....	60

3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	60
3.2.1 FASE 1. REVISÃO DA LITERATURA .....	62
3.2.2 FASE 2 – ESTIMATIVA DE CUSTOS .....	63
3.2.3 FASE 3 – MATERIAIS SELECIONADOS.....	65
3.2.4 FASE 4 – ESCOLHA DE MÉTODO DE REGISTRO.....	68
3.2.5 FASE 5 – PLANEJAMENTO E CRIAÇÃO DE AMBIENTE SIMULADO..	69
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
4.1 CRIAÇÃO DE <i>TOURS</i> VIRTUAIS INTEGRADOS .....	74
4.2. CRIAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) .....	81
4.3 EXPORTAÇÃO E CRIPTOGRAFIA.....	82
<b>5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
5.1 ESCOLHA DO <i>SOFTWARE</i> .....	85
5.2 IMPORTÂNCIA, VANTAGENS E LIMITAÇÕES DE CÂMERAS 360° .....	88
5.3 CRIPTOGRAFIA DOS PRODUTOS.....	91
5.4 IMPACTO NA PRODUÇÃO DOS LAUDOS E NO TRABALHO DOS PERITOS CRIMINAIS .....	92
5.5 IMPACTO NA CADEIA PRODUTIVA PERICIAL PELA ÓTICA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.....	95
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE I – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO.....</b>	<b>107</b>

## FIGURAS

Figura 1 – A perícia criminal e seus principais públicos (Rodrigues, Silva &Truzzi, 2010)..	20
Figura 2 – Processo simplificado da perícia criminal (Rodrigues, Silva &Truzzi, 2010).....	21
Figura 3 – Aplicação de tecnologias AR/VR na indústria 4.0.....	25
Figura 4 – O.E.M.V. e R. Penna., Rev. Bras. Crim. 12(3), 28-33, 2023 Edição Especial dos Anais do XXVI Congresso Nacional de Criminalística .....	29
Figura 5 – RV, RA, RVA e RAV (produzido pelo autor) .....	30
Figura 6 - Perspectivas industriais da digitalização 3D: características, funções e suas aplicações analíticas (adaptado) .....	31
Figura 7: laser por contato (Ebrahim, 2015).....	33
Figura 8: Laser por triangulação (Reiss, 2007) .....	33
Figura 9 – laser de luz estruturada (Oliveira <i>et al</i> , 2021) .....	34
Figura 10 - Reconstrução tridimensional digital de objetos à curta distância por meio de luz estruturada (Reiss,2007) .....	37
Figura 11 – Plano aberto (produzido pelo autor).....	41
Figura 12 – Plano médio (produzido pelo autor).....	42
Figura 13 – plano fechado com uso de escala (produzido pelo autor). .....	42
Figura 14 – Imagem equiretangular – software stitched – de Ricoh Teta Plus – de dados digitais, <i>tours</i> virtuais e modelos de 3D integrados usando uma plataforma de dados livres. .	45
Figura 15 – Panorama ou imagem equiretangular gerada em um local de crime simulado (produzido pelo autor). .....	46
Figura 16 – Equipamentos necessários para montagem de costura panorâmica (Toscano et. al, (2024) .....	47
Figura 17 - canal do 3D vista no youtbe – “how create a panorama (shooting & Stitching)” .	47
Figura 18 – Montagem no huggin de imagens bidimensionais. O.E.M.V. e R. Penna (2023)	48
Figura 19 – câmeras múltiplas semelhantes aos modelos freedom360 e 360 hero ou outros modelos disponíveis no mercado (Toscano et. al, (2024))......	50
Figura 20 – câmeras múltiplas freedom360 e 360 hero (Lee et. al, (2016))......	50
Figura 21 – Câmera GoPro Max , insta360 x3 e bastão telescópico (retiradas dos sites da GoPro e Insta360) .....	51
Figura 22 - sistema de lentes duplas grandes angulares da Gopro Max. ....	51
Figura 23: fases da metodologia de pesquisa .....	62

Figura 24 - câmera GoPro Max (site do fabricante) .....	66
Figura 25 – Insta360 x3 (site do fabricante) .....	66
Figura 26 – Tripé “pé de galinha” e bastão telescópico de carbono de alcance de 3 metros. ..	67
Figura 27 – Canon SL2 EOS (imagem do site do fabricante) .....	67
Figura 28 – sangue artificial produzido para o local de crime simulado .....	70
Figura 29 – Manequim com ferimentos artificiais .....	70
Figura 30 – Interface do aplicativo da GoPro Max – GoPro Quik no celular. ....	71
Figura 31 – Interface do aplicativo da Insta360 Studio no computador. ....	71
Figura 32 – Interface do 3Dvista .....	72
Figura 33 – Imagens equiretangulares na proporção 2:1 .....	74
Figura 34 – <i>Layout</i> criado para o <i>Tour Virtual</i> .....	76
Figura 35 – <i>Hotspot</i> ou Pontos de Interesse (POIs).....	76
Figura 36 – Local de crime simulado – vítima 1 - térreo .....	77
Figura 37 – Local de crime simulado - vítima 2 - pavimento superior .....	77
Figura 38 – Elementos interativos na imagem .....	78
Figura 39 – Laudo de Perícia Criminal inserido no <i>Tour</i> em aba específica .....	78
Figura 40 – posicionamento georreferenciado do local onde se deu a simulação. ....	79
Figura 41 – croquis disponíveis do local .....	79
Figura 42 – Informações adicionais para melhorar a experiência de navegabilidade do usuário. .....	80
Figura 43 – Imagem panorâmica de jogo de lentes adaptados para celulares .....	80
Figura 44 – Montagem de panorâmica. Observar a quantidade de emendas ( <i>Seams</i> ) na imagem. .....	81
Figura 45: nós e mapeamento de registros fotográficos. ....	82
Figura 46: arquivos em formato Html .....	83
Figura 47 – criptografia utilizando SHAsummer .....	84
Figura 48 – Interface de Pano2VR. ....	87
Figura 49 – Interface de <i>Mazipano</i> . Uso de hotspot de deslocamento padrão. ....	88
Figura 50 – Emendas ( <i>Seams</i> na fotografia 360°).....	90
Figura 51 – Tripé aparente e desaparecimento do bastão telescópico.....	91
Figura 52 – Utilização de imagens feitas com “prints” de câmeras 360° como imagem bidimensional .....	93
Figura 53: Laudo Virtual de Local – Imagens realizadas pela Insta360 X3 .....	94

Figura 54: Imagem do POP (imagem 1 do POP) - representação em espaço fechado.....	112
Figura 55: registros em acidentes de trânsito (Imagem 2 do POP) .....	113

## QUADROS

Quadro 1 – Metodologias de precisão e representação (produzido pelo autor) .....	26
--	----

## TABELAS

Tabela 1 – Perspectivas industriais da digitalização 3D: características, funções e suas aplicações analíticas (adaptado). .....	39
Tabela 2 – Uso de imagens panorâmicas, fotografias 360° e <i>tours</i> virtuais (produzido pelo autor).....	55
Tabela 3 – Dados pesquisados em janeiro de 2025. ....	65
Tabela 4 – comparação Insta360X3 e GoPro MAX.....	66
Tabela 5 – Especificação da canon SL2 .....	67
Tabela 6: preço médio de um <i>kit</i> para captura e pós-produção .....	68
Tabela 7 – serviços de nuvem e de <i>softwares</i> (produzido pelo autor).....	73
Tabela 8 – Tempos de registros em campo .....	75
Tabela 9 – links dos <i>Tours</i> produzidos em ambiente de simulação. ....	75

## APÊNDICES

Apêndice 1 – Procedimento Operacional Padrão.....	107
---	-----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**3D** – Três Dimensões

**3D DoF** – Três Graus de Liberdade

**6D DoF** – Seis Graus de Liberdade

**AR** – Realidade Aumentada (Augmented Reality)

**ASP-C** – Advanced Photo System - type C (sensor Canon)

**CAD** – Desenho Assistido por Computador (Computer-Aided Design)

**DSLR** – *Digital Single Lens Reflex*

**EPIs** – Equipamentos de Proteção Individual

**HDR** – *High Dynamic Range*

**HTML** – *Hypertext Markup Language*

**IoT** – Internet das Coisas

**LP** – Laudo Pericial

**POI** – Ponto de Interesse (Point of Interest)

**RA** – Realidade Aumentada

**RAV** – Realidade Aumentada Virtualmente

**RVA** – Realidade Virtualmente Aumentada

**RV** – Realidade Virtual

**SDHC/SDXC** – *Secure Digital High/Extended Capacity* (cartões de memória)

**SHA-256** – *Secure Hash Algorithm 256 bits*

## RESUMO

A materialização da prova pericial deve acompanhar a evolução das tecnologias disponíveis, além da própria mudança da cultura visual e de consumo de conteúdo contemporâneos. A metodologia tradicional de produção textual, embora estruturada e sistematizada, permite ampla liberdade descritiva e técnica, o que pode acarretar em laudos extensos, densos e marcados por jargões técnicos. Tais documentos, ao serem direcionados a operadores do direito ou a jurados leigos — especialmente no Tribunal do Júri —, enfrentam o desafio da inteligibilidade e da adequada interpretação dos vestígios e eventos analisados. O trabalho propõe o uso de tours virtuais com imagens 360° como ferramenta complementar aos laudos periciais tradicionais, promovendo maior inteligibilidade, especialmente em ambientes forenses. Para isso, são explorados os aspectos relacionados à aplicabilidade prática da técnica, incluindo tempo de execução em campo, facilidade de uso pelos próprios peritos — que não necessariamente possuem formação em fotografia —, limitações tecnológicas e possíveis impactos na cadeia de produção do laudo. Como objetivos específicos, destacam-se: a investigação de metodologias tridimensionais aplicáveis à perícia; o desenvolvimento de um modelo de captação com câmeras 360°; a comparação de tempo de registro e qualidade de imagem entre equipamentos; a avaliação de alternativas de pós-processamento que respeitem a cadeia de custódia; e a proposição de um Procedimento Operacional Padrão (POP) replicável em outras unidades periciais. A técnica selecionada — *tours* virtuais construídos a partir de fotografias 360° captadas *in loco* — mostrou-se economicamente viável, prática e compatível com a rotina forense, além de representar um meio inovador de documentação. O produto final, dinâmico e interativo, pode ser acessado por plataformas digitais, inclusive com suporte a realidade aumentada e mista, e comporta integração com croquis 3D, imagens panorâmicas, vídeos, documentos PDF e outros elementos multimídia. O formato proposto possui elevado potencial de coexistência com os laudos tradicionais, oferecendo ganhos significativos de inteligibilidade e comunicação com os destinatários finais da prova técnica.

**Palavras-chave:** local de crime. *Tour* Virtual. Fotografia Forense. Fotografia 360°. Realidade virtual.

## ABSTRACT

The materialization of forensic evidence must keep pace with the advancement of available technologies, as well as with ongoing transformations in visual culture and contemporary content consumption habits. Although the traditional methodology of forensic reporting is structured and systematic, it allows for wide descriptive and technical freedom, which can result in extensive and complex documents filled with technical jargon. When such reports are addressed to legal professionals or laypersons — particularly in jury trials — they often face challenges related to comprehensibility and proper interpretation of analyzed traces and events. Within this context, the present study aims to investigate how the use of 360° photography and virtual tours can enhance the intelligibility of forensic reports, adding informational and didactic value to the presentation of forensic analyses. To this end, the study explores practical aspects of applying this technique, including the time required for field implementation, ease of use by forensic experts — who are not necessarily trained photographers — technological limitations, and potential impacts on the procedural workflow of forensic reporting. Specific objectives include: investigating three-dimensional documentation methods applicable to forensic practice; developing a standardized 360° image capture model; comparing capture time and image quality between devices; evaluating post-processing alternatives that comply with the digital chain of custody; and proposing a replicable Standard Operating Procedure (SOP) for other forensic units. The selected technique — virtual tours constructed from 360° photographs captured in situ — proved to be economically feasible, practical, and compatible with forensic fieldwork routines, while offering an innovative documentation approach. The resulting product, dynamic and interactive, can be accessed via digital platforms — including support for augmented and mixed reality — and allows integration with 3D schematics, panoramic images, videos, PDF documents, and other multimedia elements. The proposed format has strong potential to coexist with traditional forensic reports, providing significant gains in intelligibility and communication with the final recipients of forensic evidence.

**Keywords:** Crime Scene; Virtual Tour; Forensic Photography; Panoramic Photography; Virtual Reality.

## 1. INTRODUÇÃO

O corpo de delito é o conjunto de vestígios associados a uma infração de natureza criminal. Para examiná-lo, o Código de Processo Penal – CPP determina no art. 159, *caput*, que este exame seja realizado, preferencialmente, por Perito Oficial – Médico legista, Perito criminal ou Perito odontologista, os quais realizarão a materialização – descrição, registros e análise do crime, de acordo com a natureza do exame, estabelecendo o exame diferencial do evento.

A materialização é realizada documentalmente por meio dos laudos da criminalística ou da medicina legal. O laudo é uma peça escrita por Perito Oficial que representa o relatório dos exames realizados, os resultados e conclusões obtidos e dirime eventuais dúvidas da autoridade competente pela apuração da infração penal, por meio de respostas aos quesitos previamente formulados. Atualmente os laudos da criminalística são compostos de escrita textual e imagens fotográficas e deve conter estruturas mínimas, como: cabeçalho, título, preâmbulo, histórico, objetivos do exame, exames, análise e interpretação de vestígios, dinâmica do evento, conclusão (Velho, Costa e Damasceno, 2013).

Analisar a viabilidade de se utilizar ferramentas de registros tridimensionais (3D) ou que se utilize de realidade virtual ou interativa – como as fotografias 360° é desejável ao meio forense e aos destinatários finais do laudo, dado que a apresentação estruturada como um produto pode aumentar a inteligibilidade do local do fato e vestígios correlacionados, além de representar um produto inovador, com poder de agregar diversas representações visuais e informacionais, como os próprios laudos periciais em formatos PDF, dados de georreferenciamento, fotos, vídeos, dentre outras possibilidades.

Este trabalho desenvolve um estudo referente aos *tours* virtuais a partir de fotografias 360° ou panorâmicas, utilizando-se de câmeras de ação 360° comerciais de baixo custo. Os métodos utilizados atualmente no levantamento do local e na produção do laudo pericial são predominantemente croquis manuais, anotações de papel e fotografias bidimensionais com câmeras digitais. Posteriormente pode ser criado um croqui bidimensional (2D) para ilustrar o evento.

Estes métodos, ainda que consagrados pelo tempo, fornecem limitações em informações e são passíveis de, a depender de como são expostos, a erros de interpretação do próprio leitor de um laudo pericial. Como apontam Gardener (2018) e Saferstein (2018), a falta de profundidade, de continuidade visual e de integração entre texto e imagem pode induzir a

compreensões equivocadas sobre a dinâmica do evento, localização de vestígios ou trajetória de ações. Os documentos e registros chegam, posteriormente, ao tribunal para ajudar os jurados e operadores do direito a entender o crime juntamente com uma descrição dos eventos.

No entanto, as representações consagradas do local do crime inevitavelmente introduzem algum nível de distorção em relação aos relacionamentos espaciais. As informações de registros bidimensionais e de escrita textual precisam então ser traduzidas em um mapa mental tridimensional pelos jurados para entender melhor a situação, o que pode prejudicar a correta interpretação do espaço e das evidências. A demonstração de ambientes que demonstrem profundidade e espaço podem facilitar a interpretação de ambientes complexos (Reichherzer *et al.*, 2021).

No enfoque de facilitar a interpretação dos destinatários finais do laudo pericial, os *tours* virtuais podem ser ferramentas poderosas para uma imersão parcial sobre os acontecimentos, visto que agregam vários tipos de ferramentas com possibilidade de colocá-las em realidade virtual parcial ou completa, além de eliminar possíveis ambiguidades geradas por fotografias, principalmente acerca do posicionamento de vestígios e vítimas, resultando em maior segurança em tomadas de decisões em indiciamentos ou julgamentos.

Dessa forma, a escolha de *tours* virtuais para atividade forense foi selecionada por ser de fácil realização, pouco onerosa, com alto poder de inteligibilidade, atende aos requisitos de conformidade com locais sujeitos a intemperes, didática, e apresentarem uma inovação – visto que não foram encontrados artigos nacionais acerca do tema que foquem na padronização de implementação e aplicabilidade prática.

Ainda é importante ressaltar que estas apresentações forenses podem reduzir a quantidade de texto descritivo dos laudos, além dos anexos fotográficos que, quando colocados apenas ao final dos laudos periciais, tornam a leitura complicada e pouco dinâmica, uma vez que o leitor deve associar a descrição do laudo à imagem colocada ao final com sua respectiva legenda. Sob esse prisma, a produção textual é a maior queixa dos peritos oficiais, quando se trata da execução do ofício profissional, sendo a maior parte do tempo destes profissionais dedicada à atividade de produção da peça técnica.

Adicionalmente, é crucial entender se os tempos de captação e produção de um novo formato são suficientes para que o próprio Perito execute o trabalho ou se é necessária a criação de uma seção especializada para esta execução dessas captações.

Com o fito no atingimento dos objetivos propostos, o primeiro capítulo contextualiza-se com o problema da pesquisa, além de descrever os objetivos geral e específicos deste trabalho. A revisão bibliográfica é apresentada no segundo capítulo, destinada a apresentar as

metodologias de captação utilizadas para tridimensionalização, os respectivos equipamentos, além de potenciais benefícios alcançados e que possam ter aplicação no contexto criminal.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia para alcance dos objetivos, com a apresentação de métodos e resultados intermediários produzidos.

Os resultados esperados apresentam-se no quarto, ao passo que o as considerações finais são apresentadas no quinto capítulo.

## **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

Este estudo busca aplicar o método mais viável de implementação de fotografias 360° e *tours* virtuais para a perícia criminal, com poder de aumentar a inteligibilidade dos laudos periciais, e de fácil aplicação em campo e na pós-produção, gerando, como consequência, um produto final integrado, dinâmico e parcialmente imersivo, com poder de redução da escrita descritiva nos laudos e anexos fotográficos.

## **1.2 OBJETIVOS**

Para responder ao problema de pesquisa referenciado, foram definidos o objetivo geral e os objetivos específicos.

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar o uso das ferramentas 3D e de realidade virtual ou interativa para a área forense, especialmente com fotografias 360° e *tours* virtuais, desenvolvendo uma metodologia de captação, com ênfase na fotografia 360° e consequentemente na produção de *tours virtuais* integrados a outros formatos de produção gráfica e visual, para exames de corpo de delito, com foco nos peritos criminais de atividade externa, assim como investigar a aplicabilidade, em termos de tempo de trabalho e a criação de um Procedimento Operacional Padrão para captação em campo e possíveis impactos na atividade pericial.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Estudar técnicas de capacitação e metodologias de captação e produção tridimensional (fotogrametria, escaneamento 3D, animações gráficas e impressão 3D) com a análise da aplicação e limitações no contexto da ciência forense e embasadas na engenharia de produção;
- 2) Desenvolver e aplicar técnicas de montagem de *tours* virtuais a partir de ambiente simulado de local de crime, com o uso de câmeras 360°, com foco na produção de um Procedimento Operacional Padrão;
- 3) Avaliar o tempo gasto para se implementar os *tours* virtuais, além das limitações que esta ferramenta apresenta;
- 4) Investigar métodos que se garantam a confidencialidade, integridade e disponibilidade dos produtos digitais, de modo simples;

### 1.3. JUSTIFICATIVA

Existe, no atual contexto de grandes mudanças tecnológicas, dúvidas sobre quais ferramentas que se utilizam de realidade virtual e tridimensionalização e que se mostrem mais vantajosas, com aplicação prática e, quando possível, menos onerosas, representando realisticamente os orçamentos públicos disponíveis e que gerem melhor percepção visual do que fora analisado e, conseqüentemente, maior inteligibilidade do evento periciado.

Os meios tradicionais de documentação forense em locais de crime atuais incluem mídias digitais (fotografia e videografia), desenhos manuais, medições manuais e documentação em papel (Houck, Crispino e McAdam, 2017). As fotografias forenses são as majoritariamente utilizadas e são realizadas em conjunto com escalas métricas, em uma metodologia de progressiva aproximação (Secretaria Nacional de Segurança Pública - SENASP, 2013), situando espacialmente o leitor sobre o contexto e as posições das evidências, as dimensões particulares que as individualizam, e, quando realizadas fotos de aproximação, revelam-se detalhes dos vestígios e do cenário em geral.

Dessa forma, ainda que de grande serventia e praticidade, este modelo tradicional de representação gráfica pode ser reformulado para uma integração visual, com fins de melhor entendimento do cenário do local de crime, da forma como foi encontrado e processado pelo perito de local. As fotografias situam espacialmente o leitor sobre o contexto espacial, as posições das evidências, as dimensões particulares, além dos detalhes dos vestígios.

De outro lado, o excesso de informações descritivas e observações podem tornar o laudo confuso ou carregado de jargões técnicos, os quais podem trazer menos clareza, principalmente

a ocorrências que envolvem o tribunal do Júri ou aos próprios operadores do Direito. Destarte, não é incomum, quando realizado o controle de qualidade, por meio de revisão entre pares, questionamentos ou obscuridades sobre posicionamentos de vestígios e vítimas, além do auxílio do próprio responsável do atendimento para que os vestígios se conectem, tornando, possivelmente, viesada a análise de revisão e reforço da história criminalística do perito relator.

Entender que o laudo pericial é um produto e deve ser apresentado a cliente(s) ou destinatário(s) final(is) (Rodrigues, Silva &Truzzi, 2010) de modo inteligível, simples, organizado e, sempre que for possível, moderno, torna-se crucial, visto que os prazos corriqueiramente são enxutos para apropriação dos diversos meios de provas contidas em um processo criminal ou inquérito policial, seja na fase investigativa, seja na fase judicial, após o inquérito remetido ao Poder judiciário. Nesse mote, a figura 1 demonstra que existem outros diversos destinatários que se utilizam do serviço da perícia criminal, não se resumindo apenas aos operadores do direito ou jurados.

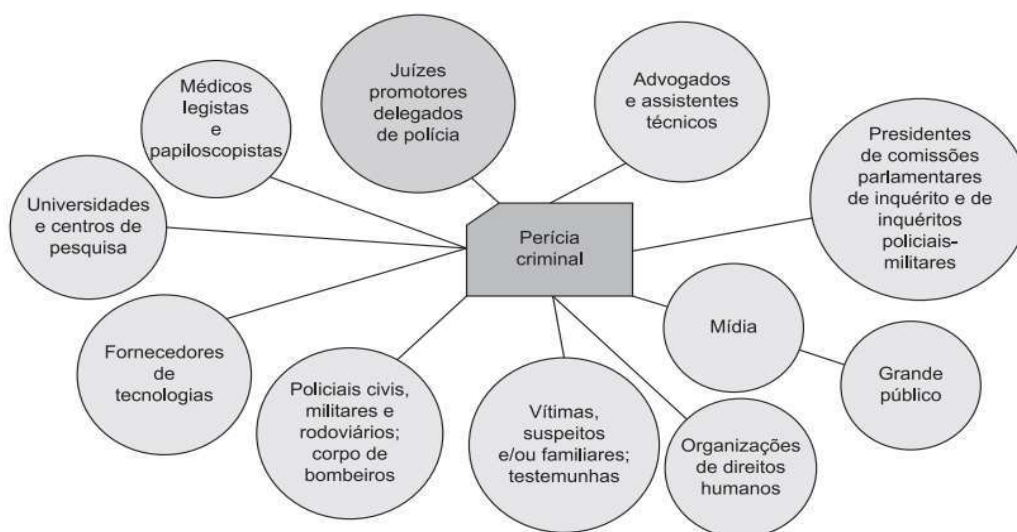


Figura 1 – A perícia criminal e seus principais públicos (Rodrigues, Silva &Truzzi, 2010)

A criação de um produto institucional inovador, como os *tours* virtuais aplicados à criminalística, busca suprir uma lacuna observada na literatura: a ausência de diretrizes técnicas padronizadas para esse tipo de solução no contexto forense nacional. Trata-se, portanto, de uma proposta alternativa à produção tradicional de laudos periciais, com potencial de ampliar a inteligibilidade e a comunicação das evidências técnicas.

Neste sentido, a cadeia de valor, com o foco em tecnologias de tridimensionalização ou virtualização, em especial nas fotografias 360° (ou esféricas), seria a sequência completa de

atividades necessárias para projetar, produzir e fornecer um bem e serviço, desde a matéria-prima até o produto final nas mãos do cliente (Womack& Jones, 1996). A figura 2 mostra o processo de produção do serviço da perícia criminal, além das saídas (*outputs* e os destinatários finais principais, dentro da persecução penal.)



Figura 2 – Processo simplificado da perícia criminal (Rodrigues, Silva &Truzzi, 2010)

De acordo com Ribeiro et al. (2017), a padronização das atividades por meio de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) visa garantir a repetibilidade e a qualidade das operações, reduzindo a variabilidade nos processos. Silva e Oliveira (2020) ressaltam que a implantação dos Procedimentos Operacionais Padrão se mostrou essencial para o controle das atividades e para o alcance de melhores níveis de desempenho organizacional.

No sentido da viabilidade, é necessário que se produza um POP das diversas técnicas de captação, contudo, nesse momento, focado na captação de fotografias 360°, aliado a treinamento, a fim de que se viabilize as captações no local do fato, bem como seja possível medir o tempo de execução adicional da técnica. Nesse sentido, quanto mais vezes uma tarefa é repetida, mais o trabalhador se aperfeiçoa. Portanto, a tarefa poderá ser feita cada vez mais rapidamente, até que seja atingida a “maestria”. A repetição de certas atividades conduz, por si só, a um aumento de produtividade. Quanto mais complexa, longa e repetitiva é a tarefa, mais significativa é a curva de aprendizagem e seu impacto na produtividade.

Sobre a implementação de mecanismos de virtualização de local de crime, é intuitivo que – se o perito, que é detentor da *expertise* de análise e está acostumado com a metodologia de registros e interpretações tradicionais – perceber ganhos reais de compreensão espacial e benefícios de trabalho, quando executadas estas ferramentas e expostos ao produto virtual, é

esperado que profissionais sem todos os conhecimentos forenses poderão ter ganhos ainda maiores, dado que as técnicas, rotinas e conhecimentos não são demasiadamente claros a estes, como os são ao perito.

O esforço mental necessário para reconstruir o local de crime a partir de fotografias, vídeos e croquis passivamente é considerável, haja vista que os estes meios não possibilitam navegação ativa pelo ambiente analisado. Nesse sentido, Spielmann e Montakis (2018) descrevem o conceito de carga cognitiva (*cognitive load*), que seria a intensidade de memória utilizada para processar certos estímulos. Os *tours* virtuais, segundo os autores, permitiriam a interação ativa (clicar, girar, movimentar), o que conseqüentemente permite que os usuários processem as informações de modo profundo, aumentando a carga cognitiva, favorecendo a atenção e envolvimento.

É importante ressaltar que diversos estudos envolvendo fotografias 360° ou fotografias esféricas são descritos na literatura. Existem diversos artigos descrevendo melhorias com uso de *softwares* ou algoritmos para diminuir distorções que as imagens panorâmicas inevitavelmente geram. O foco na escolha de artigos é para os que buscam combinações de baixo custo e utilizam-se de imagem de câmeras comerciais 360°, sem, contudo, esquecer de técnicas de refino maiores, porém de possível aplicação ou adaptação, a depender do conhecimento do usuário.

Repensar a forma como os laudos periciais são apresentados, especialmente nos julgamentos do tribunal do júri, pode trazer impactos significativos na comunicação da prova técnica. Ferramentas como os *tours* virtuais permitem representar o local do crime de forma mais realista e intuitiva, favorecendo a compreensão espacial dos elementos envolvidos, como a posição de vestígios, objetos e corpos, inclusive por parte de jurados leigos. Tal abordagem pode contribuir para uma melhor assimilação das conclusões periciais e, conseqüentemente, para decisões mais fundamentadas no processo penal.

A análise de custo destas ferramentas 3D, bem como todo o impacto financeiro em aquisição de softwares de manipulação de imagens, armazenagem e de computadores com alto processamento pode ser uma barreira de implementação e optar por ferramentas baixo custo é desejável, haja vista que a SPTC (GO) possui 22 (vinte e duas) regionais e orçamentos justos para atender todas as demandas existentes.

É importante analisar adicionalmente se as competências pós captação devem ser competência de uma seção específica para este fim, existindo uma divisão do trabalho entre captação e pós-produção, no qual o Perito de local de crime poderia ser treinado a registrar, sendo os demais tratamentos realizados por esta unidade, podendo coexistir uma produção

híbrida dos achados criminalísticos ou se a execução fotográfica e integração será realizada pelo próprio profissional.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Em meio a diversas técnicas de reconstrução tridimensional e representação virtual ou interativa de locais e vestígios de crimes, o uso da realidade virtual (RV) e da Realidade Aumentada (RA) podem ser utilizadas e combinadas com propósitos variados, a depender da finalidade. Ao passo que a maioria dos estudos focam na precisão dimensional e análises forenses a partir da exatidão de distâncias e posicionamento de vestígios fornecidos por métodos de captação e modelagem, outros se servem a fornecer panoramas gerais do crime analisado, desenvolvendo-se experiências imersivas ao usuário e compreensão do local.

O objetivo da presente revisão bibliográfica é de se obter um panorama geral de metodologias que gerem tridimensionalidade ou efeitos tridimensionais com aplicabilidade forense, na área de engenharia de produção ou em outras áreas do conhecimento, haja vista que o produto a que se pretende produzir fornece integração de diversas técnicas, dentro dos limites a que se propõe, tais como: escaneamento 3D, a fotogrametria, vídeos, fotografias, fotografias 360°, vídeos 360°, animações gráficas e representações 3D de croquis, documentos PDF, georreferenciamento, dentre outras possibilidades.

Será realizada uma varredura de técnicas que podem ser utilizadas, assim como conceitos de realidades virtual, aumentadas, as combinações entres estas, além de se realizar a análise de custo e condições de execução dos métodos disponíveis.

### **2.1 INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E TÉCNICAS APLICADAS À PERÍCIA**

Tanto os métodos de captação em 3D, e técnicas de Realidade Virtual (RV) e RA (Realidade Aumentada) fazem parte do conceito de indústria 4.0 ou quarta revolução industrial. Nesse conceito existe a integração de tecnologias avançadas, com fins de se criar fábricas e processos inteligentes. Neste contexto, os propulsores são a tecnologia da informação e a comunicação, as quais promovem o intercâmbio da coleta de dados em tempo real e tomada de decisão baseadas em dados e automação.

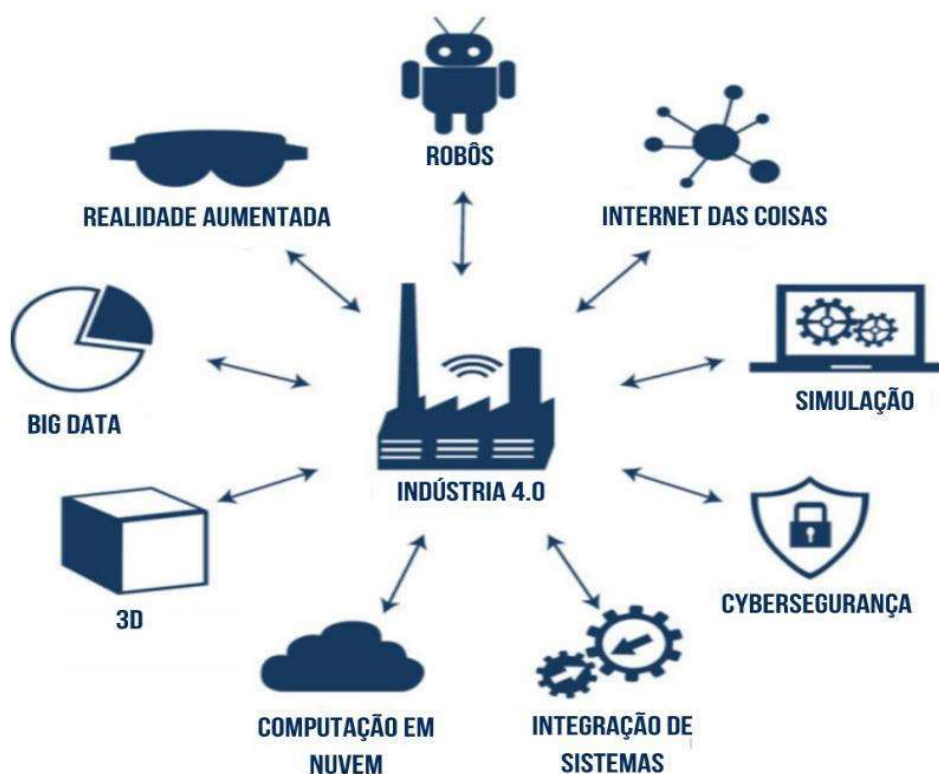


Figura 3 – Aplicação de tecnologias AR/VR na indústria 4.0

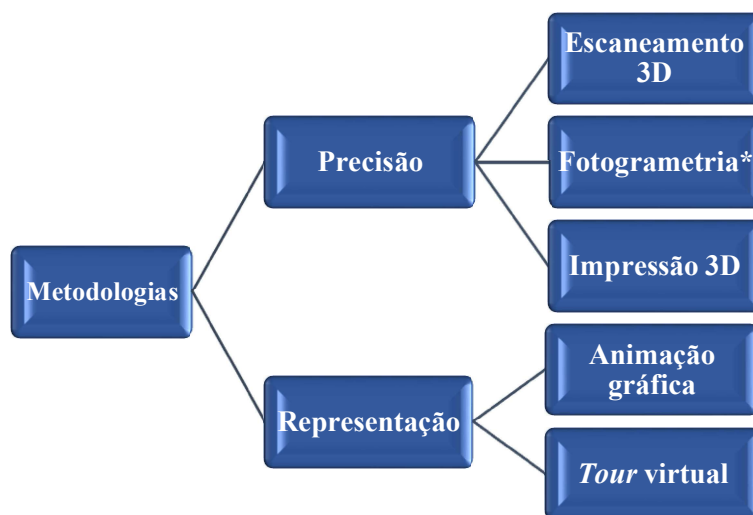
De acordo com Zhang et al. (2021), os robôs ou robótica melhoram a automação e a precisão nos processos de manufatura. A inteligência artificial (IA) se utiliza de algoritmos para analisar dados e otimizar processos, além de aprimorar o controle da qualidade e prever manutenções. A internet das coisas ou Internet of Things (IoT) são dispositivos que coletam e trocam dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões e a automação. A computação em nuvem fornece recursos de computação e armazenamento escaláveis, possibilitando o processamento de dados em tempo real e a colaboração.

No contexto forense essas tecnologias podem ser adaptadas para coletar vestígios, processar e apresentar os locais de crime analisados, progressivamente. É importante frisar que o Perito Criminal é um usuário e intérprete da tecnologia disponível. Dessa forma, a robótica e automação poderiam atuar em padronizações de registros da cena, ao passo que a IA pode ser aplicada em análises automatizadas de imagens e sistematização de padrões, tais como são, por exemplo, as manchas de sangue e outros vestígios. A computação em nuvem atuaria em armazenagem e com compartilhamento entre os operadores dos direitos e os profissionais forenses. A IoT pode-se utilizar de ferramentas para captar e registrar dados mais precisos.

Embora existam diversos caminhos da Indústria 4.0 que podem ser seguidas pela perícia, serão direcionados aspectos ligados às imagens e escaneamentos. As metodologias

foram divididas em dois grupos. O primeiro se refere a tecnologias de precisão, sendo a primeira delas – o escaneamento 3D – a mais indicada para realidade virtual e bastante utilizada em estudos forenses controlados, seguido da fotogrametria e impressão 3D. A segunda refere-se a metodologias de representação, sendo indicadas para compreensão visual de locais e dinâmicas criminais.

Embora a fotogrametria seja um método de escaneamento 3D baseado em fotos, esta técnica foi dividida em tópico próprio, uma vez que existe vasta quantidade de artigos da área forense e da engenharia de produção, além de ser um modelo bastante utilizado com Veículos Aéreos Não Tripuláveis – VANTs. Pela particularidade da técnica, além dos fins didáticos da pesquisa, foi separado tópico próprio à presente técnica.



Quadro 1 – Metodologias de precisão e representação - Elaborado pelo autor

O quadro 01 divide as tecnologias mais utilizadas em contextos forenses e que possuem correlação com o contexto da Indústria 4.0. As tecnologias de precisão referem-se àquelas que registram o local com foco em medidas – alturas e distâncias, por exemplo, perenizando virtualmente como o ambiente se encontrava ou, no caso da impressão 3D, realizando a materialização no mundo real de elementos, os quais tiveram processos de escaneamento ou prototipagem previamente realizados. Ao se referir a metodologias de representação, estas se servem para demonstrar, por meio de fotos ou criações gráficas, locais ou dinâmicas, entretanto não trazem os detalhes de exatidão, como distância, medidas e posicionamentos, e de características físicas de elementos do ambiente.

### 2.1.1. REALIDADE VIRTUAL (RV), REALIDADE AUMENTADA (RA) E REALIDADE INTERATIVA (RI)

A realidade virtual destina-se a um ambiente totalmente virtual em que usuários podem explorar se utilizando de ferramentas como um óculo adaptado para RV (*headsets*). Neste modelo a imersão é profunda e o usuário pode interagir com ambientes e objetos, modificando-os, inclusive, caso seja a intenção. Existe a possibilidade do controle da exploração ser realizada pelas mãos, caso os dispositivos de RV tenham controladores.

De acordo com Bryson (1996), a realidade virtual baseia-se na criação de mundos tridimensionais em que o usuário possui interação em tempo real com os 6 graus de liberdade (6DOF) – para frente/trás, cima/baixo, esquerda/direita e rotações. São ambientes como os jogos de videogame em que há liberdade exploratória sobre o universo criado. O uso de óculos de realidade virtual potencializa a imersão ao usuário e, quando submetidos a sistemas de transmissão de áudio do ambiente, oferecem imersão completa. No contexto forense, o uso de scanners em ambientes enquadra neste conceito. De acordo com Zawadzki, P., & Żywicki, K. (2016), “o uso de modelos virtuais apoia a tomada de decisão ao permitir imersão completa em ambientes digitais de produção”, corroborando para a importante utilização em contextos que envolvam diversos destinatários finais das análises dos peritos criminais, como nas sessões de tribunal do Júri. Ambientes virtuais aprimoram a experiência de aprendizado ao permitir a compreensão espacial e a interação com o cenário (Marques, J.V *et al*, 2021).

Para Kagermann *et al.* (2022), a indústria 4.0 é uma integração de sistemas cyber-físicos em processos de produção, com comunicação autônoma entre sistemas, resultando em fábricas inteligentes.

Em relação aos Graus de liberdade (*degrees of freedom*), é importante destacar que estes podem ser caracterizados por 3 graus de liberdade (3DoF) ou 6 graus de liberdade (6DoF) e são os eixos de movimentação e rotação que um corpo ou câmera podem realizar dentro de um ambiente virtual ou virtualizado. No 3DoF, onde as imagens esféricas se inserem, é possível realizar translações pelo eixo X, Y e Z, entretanto as rotações de inclinação não são possíveis: (*Pitch*) – girar para cima ou para baixo (movimento análogo ao “sim), Guiamento (*Yaw*) – girar para os direitos ou esquerdas (movimento análogo ao “não) e Rolagem (*Roll*) – inclinar-se lateralmente (análogo a girar a cabeça para os ombros). Quando se tem os 6 graus de liberdade (6DoF) é possível caminhar no espaço livremente, manipular objetos e inspecioná-los sobre os diferentes ângulos, utilizando-se tanto de translações quanto de rotações no ambiente.

Os Seis graus de liberdade (6DoF) definem todos os movimentos possíveis em um espaço tridimensional. Ambientes de realidade virtual que oferecem suporte completo a 6DoF

proporcionam total navegabilidade e interação, sendo essenciais para aplicações como simulação, treinamento e reconstrução forense (Jerald (2015)).

A maioria dos sistemas de fotografias 360° são limitadas as visualizações rotacionais, oferecendo experiências em 3DoF – o usuário pode olhar em qualquer direção, mas não pode se mover dentro da cena (Matzen et al, 2017).

A ferramenta da realidade aumentada pauta-se na combinação de elementos virtuais com o mundo real, a qual realização a sobreposição de imagens, vídeos ou outros recursos visuais sobre o ambiente físico. A Realidade Aumentada são elementos virtuais gerados por computador do ambiente, adicionados individualmente ou em grupo ao mundo real através de câmeras embutidas em dispositivos móveis. Os serviços oferecidos em tempo real no campo da tecnologia AR permitem o uso de tais soluções em muitas indústrias ao redor do mundo e projetam sistemas virtuais modernos introduzidos na realidade. (Szymon Machalla et al., 2022).

A realidade aumentada possui diversas aplicações dentro do contexto da indústria 4.0, dentre elas:

- 1) Treinamentos e processos educacionais, gerando redução de riscos e custos, uma vez que funcionários não precisam interagir diretamente com máquinas, necessitando para tanto de um ambiente interativo.
- 2) Otimização de montagem, com ajuda a profissionais a visualizarem as etapas de montagem e precisão, quando inseridos em uma linha de montagem.
- 3) Controle de qualidade, com a exibição de modelos 3D de processos ou produtos acabados.
- 4) Logística e layout fabril
- 5) Assistência de moto remoto, com compartilhamento de mesmo ambiente virtual de trabalho, ainda que em localidades diferentes.
- 6) Reparos e manutenções, por meio de fornecimento de visão sobreposta ou esquemas, enquanto realizam o conserto ou calibração de determinada máquina ou operação.

O uso de realidade aumentada baseia-se na sobreposição de elementos visuais ou virtuais (que podem ser imagens ou sons) ao mundo real, por meio de dispositivos, normalmente os celulares ou tablets (Tori *et. al*, 2006). Nesse contexto, a combinação de qr codes com realidade aumentada em laudos periciais poderiam funcionar como gatilho para a realidade aumentada, ativando-se conteúdos visuais, como uma arma escaneada, instruções ou referências teóricas ou em vídeos sobre determinada discussão científica no laudo, devendo o

operador do direito ou destinatário final do laudo direcionar a câmera do celular para a leitura e acesso a interatividade. Rocha et. al (2020), define que o qrcodes permitem acesso instantâneo a instruções específicas e conteúdo digital quando combinado com realidade aumentada, aprimorando a compreensão da operação e reduzindo o tempo de preparação.

O uso de realidade interativa, relatado no trabalho de O.E.M.V e R. Penna (2023) , baseia-se em tecnologia híbrida que se utiliza fotos comuns, as quais são transformadas em imagens panorâmicas (360°), como inserção de Pontos de Interesse (POIs) ou *hotspots* e movimentação navegável, criando-se uma experiência semi-imersiva.

Destaca-se que a técnica utilizada pelos autores é a de “costura” ou “stching”, na qual existe a montagem de fotos esféricas ou bidimensionais formando uma única panorâmica. Quando realizada a montagem panorâmica desses elementos têm-se transições panorâmicas, os quais utilizam 3 graus de liberdade (3DoF), não permitindo movimentação livre pelo ambiente.



Figura 4 – O.E.M.V. e R. Penna., Rev. Bras. Crim. 12(3), 28-33, 2023 Edição Especial dos Anais do XXVI Congresso Nacional de Criminalística

A literatura ainda define Realidade Aumentada Virtualmente (RAV) e Realidade Virtualmente Aumentada (RVA). No uso da RVA, é a condição em que o usuário está em um ambiente virtual e elementos que representam o mundo real são introduzidos, ou seja, estão aumentando a percepção. Um exemplo seria a inserção sonora de batimentos cardíacos do usuário, por meio de áudio, em um ambiente virtual de treinamento voltado à profissionais da aviação. De outro modo, a Realidade Virtualmente aumentada (RAV) é baseada no mundo real, entretanto, quando utilizado dispositivos como óculos de realidade mista, pode adicionar

elementos virtuais ao ambiente, tornando mais próximo da realidade virtual. As figuras 4 e 5 mostram a relação dos conceitos de acordo com o grau de imersão e interatividade.



Figura 5 – RV, RA, RVA e RAV (produzido pelo autor)

### 2.1.2 ESCANEAMENTO 3D

Notavelmente, a digitalização em 3D é utilizada em muitos setores da indústria para projetar e fabricar produtos (Maneli e Isafiade, 2002). Com a fabricação de diversos tipos de tecnologias e valores desses equipamentos, vários são os tipos de uso para processos. Observar como a utilização dessas tecnologias tem sido empregada na engenharia de produção, nas ciências forenses e em outras áreas do conhecimento podem fornecer dados significativos para aplicações periciais.

O escaneamento tridimensional é amplamente citado como uma das técnicas mais eficazes para a reconstrução de cenas de crime. Pode-se citar equipamentos como o *Scanner LiDAR* e dispositivos FARO X 130 como bastante utilizados, pois possuem alta precisão e capacidade de captura rápida e detalhada em ambientes complexos (Buck *et al.* (2008); Liu *et al.* (2019) e Bahirat & Prabhakaran (2017).

Apesar dos equipamentos apresentarem eficácia, certas limitações de em superfícies reflexivas, dependências de boas condições de iluminação e custo elevado podem representar restrições para adoção em órgãos públicos (2022).

Segundo Thompkins (2003) e Torres (2002), a utilização de modelos computacionais para a representação e simulação de processos, sistemas e relações do homem e ambiente é

uma prática recorrente nos processos produtivos. Entre as diversas áreas, é importante estabelecer a relação de uso e ganhos, observando os custos envolvidos.

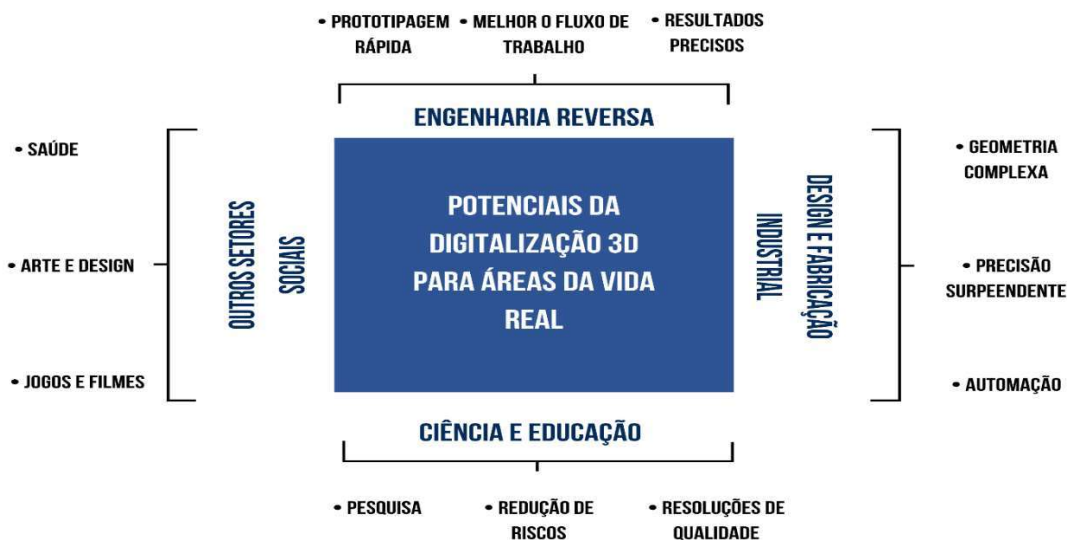


Figura 6 - Perspectivas industriais da digitalização 3D: características, funções e suas aplicações analíticas (adaptado)

No contexto da indústria 4.0, o uso de scanners e ambientes virtuais é uma técnica poderosa para engenharia reversa. Devido às qualidades de precisão e possibilidade de, assim que digitalizado, realizar a impressão 3D de um produto, esses equipamentos são utilizados para acelerar fluxos de trabalho, uma vez que se pode modificar design, reintegrando e remodelando malhas diferentes em um desenho CAD, tornando o processo de remodelagem mais rápido, bem como diminuindo custos.

De acordo com Haleem et al. (2022), a aplicação da digitalização 3D na indústria 4.0 pode ser direcionada a várias áreas e estágios de produção, sendo alguns deles:

- 1) Design industrial: medições precisas aumentam produtividade e diminuem erros.
- 2) Melhoria das habilidades dos funcionários: envolve alunos e melhora habilidades.
- 3) Design e desenvolvimento de produtos: utilizada em qualquer etapa da produção com relativa simplicidade, além de melhorar a comparação entre peças.
- 4) Coleta de informações sobre os processos de fabricação.
- 5) Melhoria de visibilidade.
- 6) Áreas emergentes de aplicação, como a medicina: visão detalhada dos órgãos internos e realizar diagnósticos menos invasivos e mais precisos. Na esfera forense, existe a denominada *virtuopsy*, (combinação das palavras autópsia e virtual).

- 7) Design e fabricação: diminuir o número de ciclos de protótipos.
- 8) Fornecimento de modelos em cores: detectar possíveis inconsistências.
- 9) Campo de produção: maior padronização e detecção de alterações em ferramentas e objetos.
- 10) Redução de custos de mão-de-obra e Manutenção preventiva
- 11) Pesquisa e testes.
- 12) Digitalização do ambiente: em automóveis e medição de locais distantes, com consequente criações de ambientes virtualizados.

Estas tecnologias, entretanto, possuem limitações. Superfícies espelhadas não são bem escaneadas, haja vista a propriedade refletora, assim como objetos escuros, pois estes absorvem a luz. Objetos translúcidos igualmente possuem dificuldades de escaneamento, principalmente se sua constituição for relativamente homogênea, dado que a luz ou laser os atravessam.

Registra-se, igualmente, que a linha de visão, ou seja, ambientes que estejam fora da área de projeção ou protegidos por outros materiais não terão sua superfície escaneada. Adicionalmente, fatores como a luminosidade ambiente pode gerar ruídos na digitalização, além da falta de iluminação também afetar negativamente o resultado de captação e leitura.

O escaneamento de áreas e superfícies tem o objetivo de capturar digitalmente o ambiente e objetos, utilizando-se para tanto dos scanners 3D. Segundo Tredinnick, Smtih & Ponto (2019), existem dois tipos de tecnologias de escaneamento de superfícies 3D: as que são baseadas em laser ou as que são baseadas em luz projetada.

Dentre os diferentes scanners que se utilizam o laser, o LiDAR (*light Detection and Ranging*), em especial o modelo terrestre, é bastante utilizado pelos peritos. Em regra, *scanners* que se utilizam de luz estruturada oferecem maior resolução quando comparadas aos *lasers*, são indicados para superfícies pequenas, objetos ou ambientes internos com pequenos alcances, enquanto os *scanners* que se utilizam de *laser* são indicados para grandes áreas, com menor detalhamento.

Para Javaid et. al (2001), a classificação dos scanners 3D é realizada de acordo com o princípio empregado no seu funcionamento. Ainda que mantenha a classificação geral de *laser* ou luz. De acordo com o autor existem 06 tipos de digitalização:

- a) Triangulação de *laser*: baixo custo; captura precisa; simples e portátil.
- b) Luz estruturada: escaneamento Rápido; alta resolução; versátil e mais seguro.
- c) Fotogrametria: captura de realidade a partir de imagens; uso de *softwares* para manipular

– *Blender & Mushroom* (softwares livres); *3DF Zephyr* (licença).

d) Laser baseado em contato: controle de qualidade; informação gerada em tridimensionalização; contato físico.

e) Baseado em pulso laser: boa resolução; portátil e seguro; grande área de escaneamento.

f) Baseado em ótica: em tempo real; visualização; boa precisão.



Figura 7: laser por contato (Ebrahim, 2015)

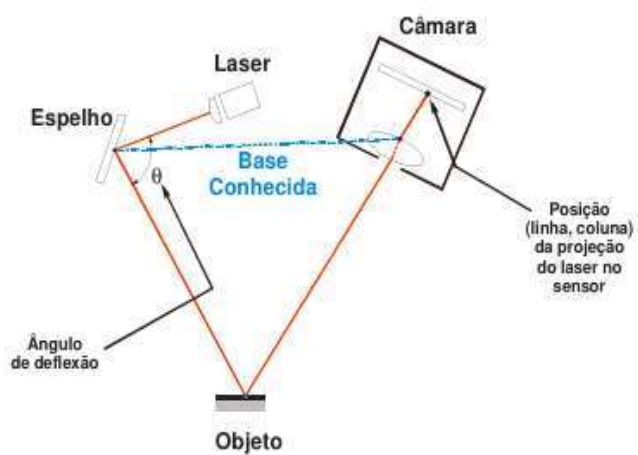


Figura 8: Laser por triangulação (Reiss, 2007)

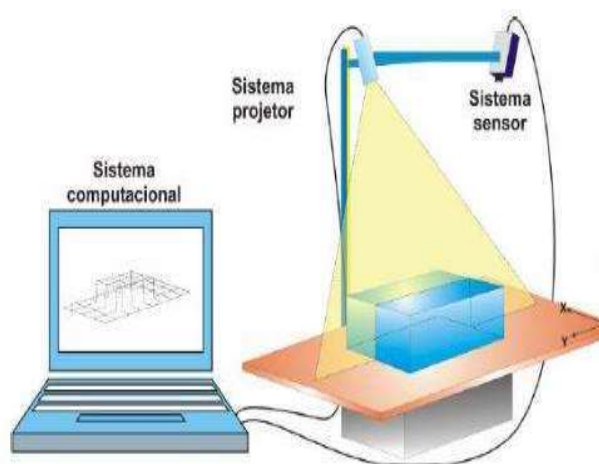


Figura 9 – laser de luz estruturada (Oliveira *et al*, 2021)

O objeto resultante pode ser salvo, compartilhado, editado e impresso a partir de um dispositivo usando *scanners* 3D. Os *scanners* visam a quantificar, digitalizar, replicar e modificar suas dimensões com precisão. Como a resolução e a informação são os componentes principais de um *scanner* óptico 3D (Javaid *et al.*, 2021).

Um scanner 3D é um dispositivo digital não destrutivo que usa uma linha de luz ou laser para capturar com precisão a forma de um objeto físico em dados de Desenho Assistido por Computador (CAD). Ao se relacionar o contexto forense, é interessante notar que a preservação de todas as características de vestígios é perenizada, mantendo-se as particularidades dos achados criminalísticos em campo e reforçando a cadeia de custódia.

Ao se escanear tridimensionalmente um ambiente, pessoas ou objetos, a captação é utilizada para diferentes utilidades, sendo realizados de acordo com a necessidade e propósitos dos resultados. A utilização de equipamento pode se servir para observação de estruturas internas ou externas, além de ambientes, sendo a precisão fidedigna do que se observa um dos grandes pilares, em suas formas e tamanhos. Para a emissão de luz ou laser tem-se a formação de nuvem de pontos, contendo informações de coordenadas X, Y e Z. Segundo Maneli & Isafiade (2022), no que se refere a popularização deste método na ciência forense, nas últimas duas décadas, muitos pesquisadores pesquisam a reconstrução 3D do local de crime utilizando-se de vários métodos e abordagens. Também houve maior desenvolvimento de tecnologias imersivas, como fones de ouvido VR e scanners 3D. Uma vasta literatura foi produzida e citada

na área de investigação forense 3D e nas de reconstrução de locais de crime, cada um com seu méritos e deméritos potenciais.

No estudo realizado por Home et al. (2024), discute o uso de escaneamento 3D, a partir de um scanner 3D terrestre, para apresentar evidências de Análise de Padrões de Manchas de Sangue (BPA) aos jurados. O estudo descobriu que os jurados que viram a apresentação 3D retiveram mais informações ao longo do tempo, tiveram uma melhor capacidade de visualizar o local do crime e relataram níveis mais altos de interesse. No entanto, a apresentação 3D não afetou o julgamento deles na precisão de suas memórias ou suas respostas emocionais em comparação com aqueles que apenas viram evidências tradicionais em 2D. Os resultados sugerem que o escaneamento 3D pode melhorar a compreensão dos jurados em julgamentos reais, aumentando a compreensão e a retenção de informações espaciais nas evidências forenses. Portanto, tanto as visualizações 3D em investigações forenses quanto os *tours* virtuais têm o mesmo objetivo de melhorar a compreensão espacial por meio de uma representação tridimensional detalhada e interativa do ambiente, não se abstendo dos métodos tradicionais de apresentam dos dados.

Johnson, Jani & Pandey (2022) discutem o uso de tecnologias de digitalização e impressão 3D nas práticas forenses com base em uma pesquisa entre praticantes forenses na Índia. O estudo teve como objetivo avaliar a conscientização e o uso dessas tecnologias, avaliando a conscientização e o uso de tecnologias de digitalização e impressão 3D entre os praticantes forenses na Índia. A maioria dos participantes preferiu modelos virtuais (escaneamento de Tomografia Computadorizada) a fotografias e modelos impressos em 3D para entender lesões concluiu-se o estudo que a falta de treinamento, recursos e conscientização são barreiras significativas para a adoção de tecnologias 3D nas práticas forenses na Índia. Esses resultados mostram que palestras e capacitação formais devem ocorrer, de modo que se criar maior familiaridade com as tecnologias, além de uso efetivo.

A pesquisa de Koulieris et. al (2019) revisa de forma abrangente as tecnologias de exibição e rastreamento próximas aos olhos para realidade virtual e aumentada. Ele cobre vários tipos de exibição e tecnologias avançadas, bem como métodos de rastreamento essenciais para criar experiências imersivas de RV e RA. O relatório enfatiza a importância de enfrentar desafios ergonômicos e identifica questões de pesquisa não resolvidas para inspirar futuros avanços.

No contexto forense, plataformas têm sido criadas especificamente para o uso forense e integrada a métodos de captura tridimensional. Adamczyk, M et al. (2023) apresentam um sistema de medição projetado para documentar cenas de crime em três dimensões. Ele funciona

em duas etapas: primeiro, um scanner de baixa resolução captura toda a cena, depois um scanner de alta resolução captura áreas específicas. A aplicação no *CrimeView*, plataforma criada, gerencia o processo de documentação, permitindo a visualização tridimensional e a análise de dados. A primeira etapa usa-se um scanner a *laser Faro Focus 3D*, enquanto um scanner de luz estruturada desenvolvido sob medida é usado para a segunda etapa.. *CrimeView* é um sistema que fornece ferramentas como fita métrica virtual, busca de fonte de manchas de sangue e passeios virtuais pela cena do crime. O sistema permite medições de distância precisas, geração automática de planos e análises detalhadas para auxiliar na reconstrução 3D.

### 2.1.3 FOTOGRAMETRIA

A fotogrametria, também chamada de reconstrução baseada em imagens ou modelagem baseada em imagens, é uma tecnologia antiga, mas poderosa, em muitas aplicações da engenharia. Na construção, tem se mostrado segura, barata e eficiente para coletar dados espaciais e geométricos *as-built* (ou seja, posição, tamanho, forma e escala) de objetos de construção e infraestrutura civil (Luhmann et al. 2006; Brilakis et al. 2011; Dai e Lu 2013).

De acordo com Valerga et al. (2020), Fotogrametria é uma técnica usada para determinar a forma, dimensões e posição espacial de objetos usando fotografias. É popular porque é fácil de usar, econômica e produz bons resultados, tornando-se uma alternativa atraente ao escaneamento. Suas aplicações variam desde a reconstrução de elementos arqueológicos até a criação de modelos 3D em engenharia. Esta técnica abrange aspectos fundamentais e aplicações na engenharia, como escaneamento 3D, engenharia reversa e realidade aumentada/virtual. A fotogrametria baseia-se em medições fotográficas para obter dimensões e texturas reais dos objetos, tornando-se essencial para modelagem precisa e econômica.

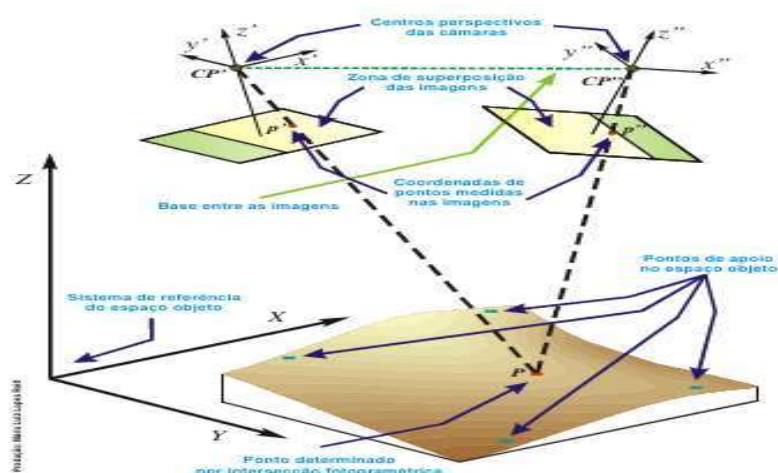


Figura 10 - Reconstrução tridimensional digital de objetos à curta distância por meio de luz estruturada (Reiss,2007)

A fotogrametria pode então ser definida como uma técnica usada para obter medições confiáveis e dados tridimensionais a partir de fotografias. Envolve a captura de múltiplas imagens de um objeto ou cena de diferentes ângulos e o uso de *software* especializado para processar essas imagens. De um modo simplificado, tem-se, as principais etapas na fotogrametria:

- 1) Captura de Imagem: múltiplas fotografias são tiradas de diferentes ângulos para cobrir todo o objeto ou local.
- 2) Correspondência de características: pontos são identificados em comum em imagens sobrepostas por meio de *softwares* (*angisoft Metashape, Pix4D, DroneDeploy, realityCapture, Autodesk, Recap, 3DF Zephyr, MicMac, Meshroom*).
- 3) Triangulação: usando os pontos comuns, o *software* calcula as coordenadas 3D desses pontos por meio de triangulação, determinando sua posição no espaço.
- 4) Reconstrução: as coordenadas 3D são usadas para criar um modelo 3D detalhado do objeto ou cena.

A fotogrametria pode ser aplicada em vários campos, como: levantamento; arquitetura e Construção; arqueologia; forense; monitoramento; entretenimento;

Modelagem fotogramétrica é o processo de extração de informações de imagens capturadas por câmeras digitais (Blachut e Burkhardt 1989). Dai et. al (2014) descreve que no processo fotogramétrico as câmeras são configuradas para tirar as imagens em campo. Fatores

de interferência podem afetar os resultados de precisão e devem ser observados no processo, como: ponto principal e a distância principal da câmera, os coeficientes de distorção da lente da câmera e as configurações de imagem – linha de base, porcentagem de sobreposição de fotos, número de fotos sobrepostas, câmera e ângulos de incidência.

Quando aplicada à indústria e como alternativa a modelos de imagens existentes, como a tomografia computadorizada por Raios - X e a digitalização a laser, Ozturk & Rashidzade (2020), apresentaram um método baseado em fotogrametria para determinar índices morfológicos tridimensionais (3D). Com o objetivo de se criar um método fotogramétrico com precisão e determinar as características morfológicas, fontes primordiais para entender o comportamento de materiais granulares em misturas de concreto e asfalto, os autores concluíram que a metodologia é válida como precisão e controle de qualidade na indústria da construção. Em se analisando nesse contexto, as aplicações para morfologias de tamanho marco, as quais são em situação de locais de crime, podem ter resultados satisfatórios com essa técnica. Salienta-se que o estudo fora dirigido com um modelo Nikon D3400, similares às utilizadas pelos profissionais forenses, utilizando-se de refletores e *softwares* de modelagem 3D – tanto comerciais quanto livres.

#### **2.1.4 IMPRESSÃO 3D**

A Manufatura aditiva (AM) ou impressão 3D é um método de criação de objetos sólidos tridimensionais a partir de uma imagem digital. O desenvolvimento de um modelo impresso em 3D é feito por processos aditivos, no qual um objeto é formado pela disposição sucessiva de camadas de material até quando todo o objeto seja criado. A AM requer múltiplas fases, desde um modelo CAD simulado até a peça física (Bag, Prakash & Mayuri, 2020).

Essa tecnologia é emergente com grandes potenciais para a medicina legal e criminalística. Os dados digitais, extraídos de tomografias, ressonâncias magnéticas ou outros modelos computacionais, permitem a construção de modelos físicos 3D. Embora não seja um método ainda tradicional nos tribunais, a apresentação de evidências com as mesmas características das que foram recolhidas no local e ajudam, igualmente, a integridade, reduz custos, prazos e impactos invasivos sobre cadáveres.

Segundo Jandyal et al. (2022), quanto à referência do produto impresso, define que os aspectos sustentáveis da impressão 3D, como menor desperdício de material, menos pós-processamento e custo muito baixo, mesmo para a fabricação de peças complexas, tornam a impressão 3D uma tecnologia do futuro. Outros aspectos sustentáveis incluem o potencial da

impressão 3D para reutilizar plástico, reciclar ou reduzir emissões. A tecnologia também é capaz de produzir designs com geometria complexa e otimizada, fato que corrobora para o desenvolvimento eficiente de peças intrincadas.

Kumar et al (2021), abrange os termos de impressão 3D e impressão 4D:

Descrição	Impressão 3D	Impressão 4D
Mudança de forma dinâmica	Não	Mudança na cor, forma, função, dentre outros
Materiais utilizados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termoplásticos (Acrilonitrila, butadieno estireno (ABS)</li> <li>• Metais e ligas.</li> <li>• Biomateriais e géis: nanomateriais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiais inteligentes – ligas com memória de forma (SMA) e polímeros com memória de forma (SMP);</li> <li>• Materiais auto-montáveis;</li> <li>• Polímeros hidrofílicos, biomateriais e óleo vegetal.</li> </ul>
Instalação de Impressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impressora 3D – Estereolitografia (SLA);</li> <li>• Modelagem por deposição fundida (FDM);</li> <li>• Sintetização seletiva a laser (SLS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impressora 3D – Estereolitografia (SLA).</li> <li>• Impressoras 3D multi-materiais.</li> </ul>

Tabela 1 – Perspectivas industriais da digitalização 3D: características, funções e suas aplicações analíticas (adaptado).

Devido à necessidade de personalização em massa na indústria 4.0, métodos de fabricação não tradicionais precisam ser desenvolvidos. Assim, a manufatura aditiva pode se tornar uma tecnologia-chave para a fabricação de produtos personalizados devido à sua capacidade de criar objetos sofisticados com atributos avançados, com novos materiais ou formas (Dilberoglu, 2017). Para a perícia, os métodos tradicionais de representação de evidências possuem limitações, normalmente representada por registros de sistema. Adicionar formas de custodiar e perenizar evidências, em sua forma e tamanho, podendo esta ser

transportada para os tribunais pode representar ganhos institucionais e sobre a percepção de valor da perícia criminal frente aos Órgãos judiciais e ministeriais.

### 2.1.5 ANIMAÇÕES GRÁFICAS

O uso de animações gráficas facilita compreender eventos complexos e posicionamentos de vítimas, vestígios, além de possibilidades da dinâmica. Ainda que a aplicação do método não seja novidade, o volume de publicações que envolvam este tema, na seara nacional ainda é significativamente baixo e necessita de maior análise, quando. A grande maioria das publicações se servem da justiça estrangeira, principalmente da norte-americana, com os marcos importantes, como no caso do voo Delta 191, em 1985.

De acordo com Gold, são classificadas em dois tipos: científica e descritiva. As descritivas contêm os depoimentos dos peritos. Quando se leva em conta a dinâmica e a física do programa, é classificada como científica. Não existe animações manuais, e sim, inclusão de dados de simulação e programação realizadas por programador. Ambos meios de prova se completam como meio de prova em tribunais.

A computação visual compõe eixo significativo de um movimento mundial para se atingir maior produtividade e eficiência, quando relacionados aos aspectos da manufatura ou cybermanufatura, como definido por pesquisas. Segundo Posada et. al (2015), a computação visual desempenha papel de relevância como uma tecnologia capacitadora para soluções completas. As tecnologias de computação visual, como gráficos por computador, processamento de imagens, 3D, representação de imagens, visualização e interfaces de usuários são elementos essenciais para a indústria 4.0.

A animação, em valor probatório, deve-se ater a apenas elementos técnicos do evento com a finalidade de esclarecer fatos ao júri, elementos apelativos não devem ser utilizados e podem confundir os jurados (Ari Cover, 2017).

Segundo Zhang et al. (2021), ao se habilitar tecnologias, métodos e ferramentas, a indústria 4.0 integra avanços evolutivos na manufatura, tecnologias de produção, tecnologia da informação, poder de processamento distribuído e ferramentas de visualização para que as empresas possam inovar, melhorar seus processos de negócios e criar produtos e serviços competitivos. É importante registrar que a animação gráfica tem a possibilidade de criar cenários imersivos ou de visualização tridimensional, a depender do foco e do desenvolvimento da técnica.

## 2.2 FOTOGRAFIA FORENSE, *TOURS* VIRTUAIS, IMAGENS PANORÂMICAS, 360°, ESFÉRICA, EQUIRETANGULAR e OMINIDIRECIONAIS.

### 2.2.1 FOTOGRAFIA FORENSE

A fotografia forense foi apresentada à comunidade científica por Alphonse Bertillón, embora tenha raízes na metade do século XIV, sendo um marco para identificação civil e criminal.

Pode-se, de um modo simplificado, dividir a fotografia forense em:

- a) Locais de crime (Crime Scene Photography): documentar, fixar, posicionar, descrevendo o local em registros abertos, médios e fechados – para representar o local exatamente como foi encontrado (Gardner, R.M, 2018).

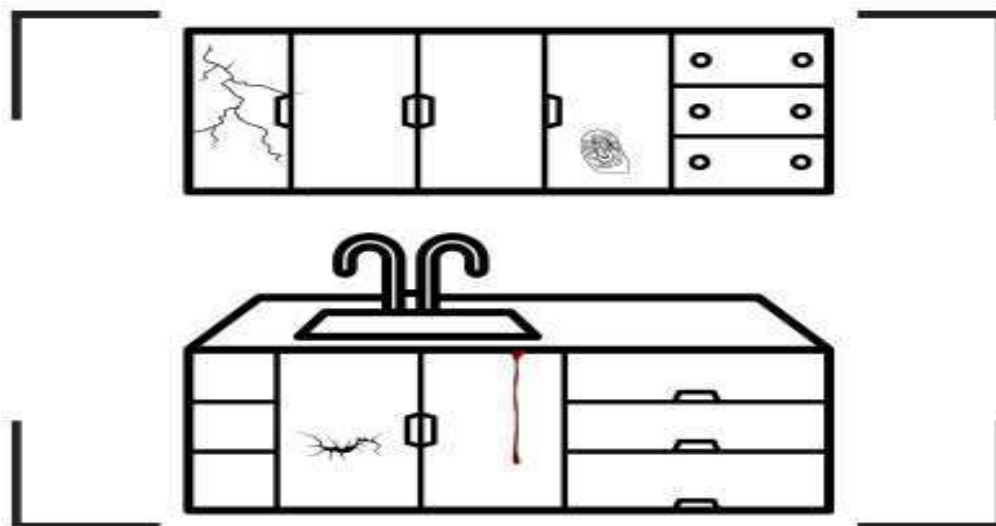


Figura 11 – Plano aberto (produzido pelo autor)

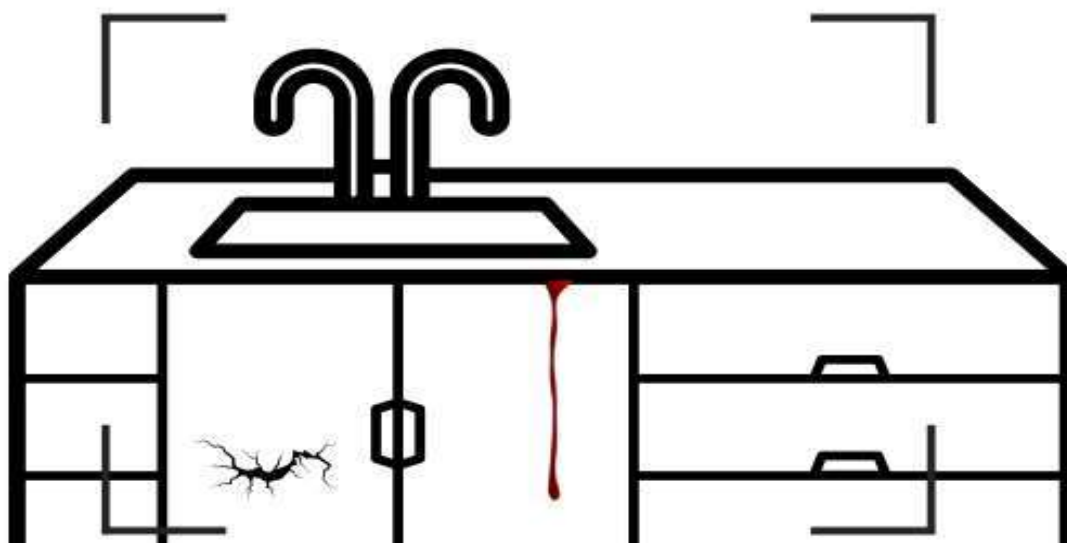


Figura 12 – Plano médio (produzido pelo autor).

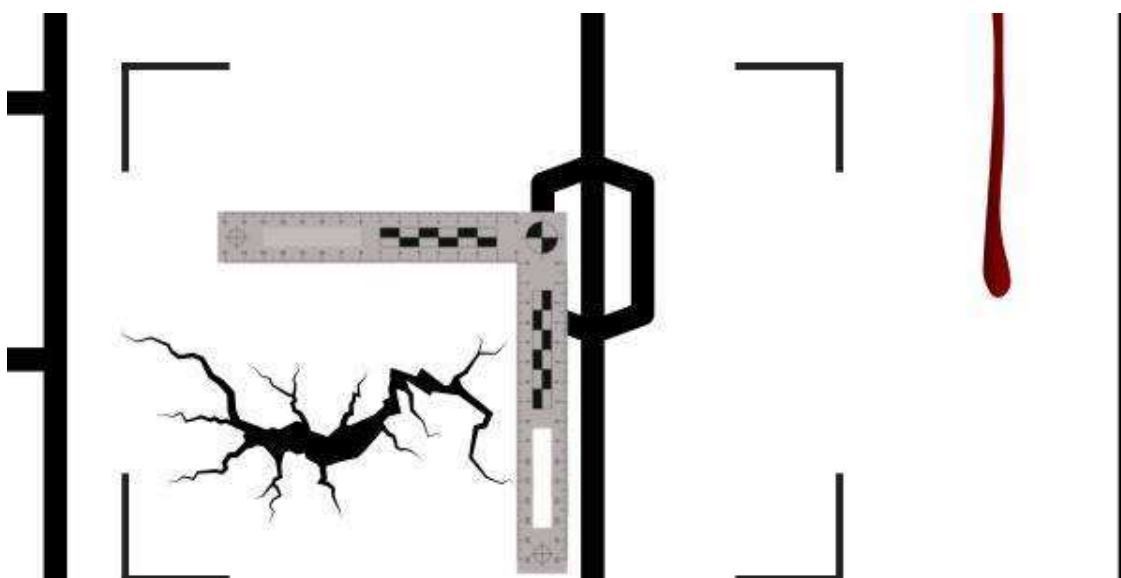


Figura 13 – plano fechado com uso de escala (produzido pelo autor).

- b) Fotografia de Vestígios (*Evidence Photography*): engloba imagens detalhadas de itens de prova, como manchas de sangue, impressões papilares (Fisher, B.A.J (2013).
- c) Fotografia de comparação (*Comparative Photography*)  
Usada para comparar evidências do local e os padrões de referência existentes (calçados, ferramentas, documentos) (Saferstein, R., 2018).
- d) Fotografia de lesões e cadáveres: usada na medicina legal, com poder de ilustração de autópsias e lesões em vítimas. Padronização de ângulos fixos, escalas métricas e iluminação (Di Maio, V.J , 2016).
- e) Fotografia de reconstrução: aplica-se em casos que envolvam sinistro de trânsito e

balística, com representações visuais sequenciais, uso de panorâmicas ou drones (Osterburg & Ward, 2013). A fotogrametria pode ser utilizada com grande relevância na reconstrução, mantendo-se as distâncias entre vítimas e vestígios, por exemplo.

## **2.2.2 DIFERENÇAS ENTRE FOTOGRAFIA PANORÂMICA, 360°, ESFÉRICA, EQUIRETANGULAR E OMNIDIRECIONAL**

Os termos abaixo se referem a definições utilizadas na literatura como sinônimos, embora alguns autores as definam por características técnicas.

No presente trabalho serão utilizadas como sinônimos as fotografias 360°, esféricas e panorâmicas, por considerarem que podem ser consideradas desta forma, desde que cumpra alguns requisitos.

### **2.2.2.1 Fotografia Panorâmica**

A fotografia panorâmica é uma técnica que visa capturar uma imagem com campo de visão ampliado (ampliação do campo de visão), especialmente ao eixo horizontal, tendo limites que compreendem de 90° a 360° - sendo mais comum entre 120° até 360°, a depender da técnica e lente utilizada.

O efeito é obtido pela junção ou costura (*stitching*) de diversas imagens sobrepostas. O foco é apresentar ambientes de modo contínuo e com ampliação, sem, contudo, fazer o uso da interatividade ou imersão. Gledhill et al. 2003, definem que são criadas pela união de imagens múltiplas capturadas em ângulos diferenciados e horizontais, criando um campo de visão que se amplia, mas que não necessariamente tem a cobertura de uma esfera.

Dessa forma, uma imagem panorâmica pode ser uma imagem 360° a depender se a cobertura do campo horizontal for 360°, podendo ser visualizada uma esfera completa, quando existe a conversão nos formatos equiretangulares, possibilitando ao observador observar e girar em todas as direções. Caso as coberturas sejam de 90°, 120°, 180° ou 270° não é uma esfera completa, sendo classificadas como panorâmicas.

A imagem pode ser unidirecional, não cobrindo uma esfera completa, com formato esticado. São comumente realizadas pelos aparelhos celulares modernos, reproduzindo amplas paisagens ou de outros diversos registros.

Imagens panorâmicas referem-se a quaisquer imagens com um campo de visão ampliado, incluindo panoramas parciais e esferas completas de 360°. No entanto, somente quando a imagem cobre completamente os eixos horizontal e vertical é que ela pode ser considerada verdadeiramente esférica.

#### **2.2.2.2 Fotografia 360°**

Realiza a cobertura ambiental com abrangência de 360° horizontalmente e quase sempre possuem 180° verticalmente, contudo podem se apresentar em formato cilíndrico e é um termo mais genérico e popular para fotografias esféricas.

Tung et al. (2015) define como uma fotografia totalmente imersiva, permitindo aos expectadores a navegabilidade plena, como se estes estivessem presentes fisicamente, permitindo a confecção de *tours* virtuais e reconstruções forenses.

#### **2.2.2.3 Fotografia Esférica**

As fotografias esféricas são também utilizadas como sinônimos das fotografias panorâmicas e 360°, pois são de fato fotografias 360°, com cobertura do campo de visão em 360° horizontalmente e 180° verticalmente. A diferença do termo esférico consiste em a imagem considerar todo o contexto ao redor da câmera e não apenas a visualização interativa, mas também que possibilitam o uso de posterior fotogrametria.

Neste ponto a importância para o observador da imagem é a possibilidade de se observar e manipular com uso de interatividade e são produzidas por câmeras especiais – como as câmeras 360 GoPro Max e Insta360 – ou realizadas por câmeras DSLR com lentes grandes angulares de 6mm a 8mm, comercialmente chamadas de olho de peixe ou eyefish. A projeção dessas imagens são equiretangulares.

A fotografia esférica é um tipo de imagem panorâmica que cobre uma esfera completa de 360° ao redor da posição da câmera, permitindo ao usuário olhar em qualquer direção, câmeras 360° são, portanto, equipamentos típicos para essa finalidade (tung et al.,2015).

A fotografia esférica é uma técnica fotográfica que combina múltiplas imagens a partir de uma única posição para apresentar uma imagem composta com um campo de visão de até 360° por 180° (Woeste, 2008).

#### **2.2.2.4 Fotografia Omnidirecional**

O Termo omnidirecional é convencionalmente utilizado em contextos técnicos, que podem envolver sistemas automatizados, robótica ou a visão computacional. É um sistema óptico que realiza captura de informações em todas as direções, embora seja equivalente à fotografia 360°.

Sistemas de visão omnidirecional diferem das câmeras panorâmicas devido à sua dependência de óptica especializada e a arranjos de espelhos, otimizados para o processamento visual em tempo real (Scaramuzza et al.,2016). Ainda segundo os autores, câmeras omnidirecionais cobrem campos de visão de 360°. Entretanto, do ponto de vista fotogramétrico, sua geometria e calibração diferem dos sistemas fotográficos convencionais de 360°.

### 2.2.2.5 Fotografia equiretangular

A fotografia equiretangular é utilizada para representar imagens esféricas de forma bidimensional. Ao se utilizar câmeras 360°, quando são baixadas as fotos do cartão de memória ou de qualquer aplicativo comercial que estas possuam, o que se tem são fotografias equiretangulares, normalmente no formato PNG - Portable Network Graphic.

Tecnicamente, não são fotografias, e sim, um formato de projeção de 360° horizontal e 180° com projeção vertical, representados em um eixo X e Y, portanto, bidimensional.

A projeção equiretangular é a representação 2D padrão de uma panorâmica esférica de 360°, permitindo compatibilidade com plataformas de realidade virtual e com visualizadores panorâmicos (Hedman et al., 2018).



Figura 14 – Imagem equiretangular – software stitched – de Ricoh Teta Plus – de dados digitais, *tours* virtuais e modelos de 3D integrados usando uma plataforma de dados livres.



Figura 15 – Panorama ou imagem equiretangular gerada em um local de crime simulado (produzido pelo autor).

### 2.3.3 TIPOS DIFERENTES DE FOTOGRAFIA 360°

A obtenção de fotografias esféricas pode ser realizada por meio de diferentes tipos de processos de montagem. Em diferentes vídeos disponíveis na rede, a cada dia se tem uma nova forma de montagem, como, por exemplo, a partir de vídeos 360° com captura de tela em alta resolução e utilização posterior de *software* de montagem.

Em seu trabalho, Penna et. al (2023) realizam a montagem por meio de imagens realizadas com câmeras DSLR com uso de lentes comumente comercializadas, de parâmetros de 18 a 55mm. As imagens são costuradas pelo *software* hugin e formam ao final uma imagem panorâmica.

Contudo, três tipos principais de produção de imagens panorâmicas que são descritos mais comumente nos artigos científicos.

#### 2.3.3.1 Câmeras DSLR e lentes grande angulares

A construção de imagens esféricas, por meio de câmeras DSLR e o uso de grandes angulares é consolidada em áreas como cartografia, realidade virtual, fotografia profissional, museologia.

De modo resumido e simples, a montagem e equipamentos necessários envolvem: a) Câmera DSLR (modelos da Canon ou Nikon, por exemplo); b) Lentes olho de Peixe (fisheye)

que são grandes angulares; c) tripé com cabeça panorâmica – geram estabilidade ao redor do ponto e permite girar a câmera; d) Suporte Nodal – acessório que posiciona a câmera no ponto nodal exato da lente – favorecem capturas sem distorções; e) *Software* de Costura (Stitching) (Figura 16).



Figura 16 – Equipamentos necessários para montagem de costura panorâmica (Toscano et. al, (2024)

Quando é utilizada um lente olho de peixe de 6 a 8 mm formam-se imagens esféricas com cobertura do teto e do chão.

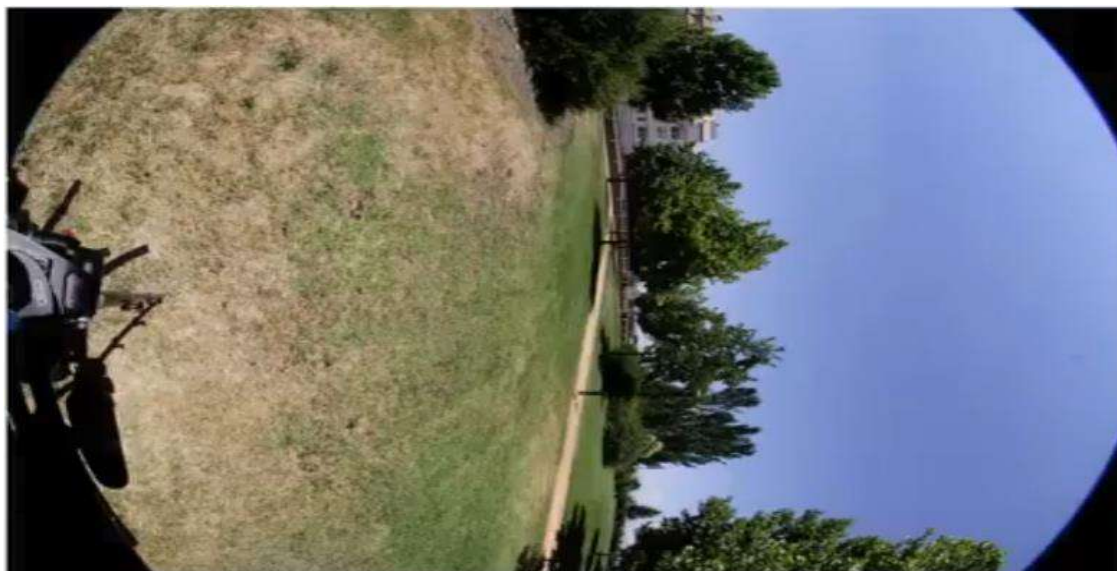


Figura 17 - canal do 3D vista no youtube – “how create a panorama (shooting & Stitching)”

Gledhill et al. (2003) descrevem o mecanismo de imagens montadas a partir de câmeras DSLR com lentes grandes angulares: de acordo com os autores, a imagem panorâmica é composta por imagens múltiplas registradas ao redor do centro ótico da câmera, posteriormente alinhadas e costuradas digitalmente". O processo envolve quatro etapas principais: (1) sistema de captura panorâmica, (2) processamento da imagem, (3) costura ou reconstrução 3D a partir

de visão estereoscópica e (4) visualização e renderização 3D.



Figura 18 – Montagem no *hugin* de imagens bidimensionais. O.E.M.V. e R. Penna (2023)

Os lentes olhos de peixe (fisheye lens) são lentes com uma distância focal extremamente curta e um campo de visão muito amplo, próximo de 180° ou até mais. Assim, uma única imagem capturada com a lente olho de peixe pode representar grande parte do ambiente (Schneider et al., 2009).

O benefício da montagem destas imagens por este método permite representações visuais com alto poder de detalhamento e fidedignidade espacial do ambiente. A partir do processo de costura (stitching), o qual envolve a fusão de múltiplas imagens e sobreposição, é possível gerar imagens panorâmicas completas, com 360° de cobertura horizontal, respeitando pontos de controle, além de realizar correções e distorções geométricas.

O uso de uma câmera DSLR com lente olho de peixe permite a captura de imagens em alta resolução com um amplo campo de visão, essenciais para a criação de *tours* virtuais em locais de crime (Tung et al., 2015).

A costura mais simples de imagens em *software* gratuito é por meio do *hugin*. Além deste programa, o programa *PTGui* é utilizado com bastante frequência por fotógrafos profissionais.

O esforço para se produzir imagens de modo prático dependerá do método e equipamentos a ser escolhidos (lentes, tripés e câmeras), considerando tanto *softwares* quanto *hardwares*.

Quanto aos desafios em se ter imagens esféricas perfeitas, um dos principais pontos a serem superados sobre a montagem é a presença de emendas visuais ou *seams* (setas vermelhas). Outro ponto desafiante o efeito paralaxe das imagens, com ocorrência quando objetos em distâncias distintas criam um efeito de movimentação, fruto da mudança no ponto de vista das capturas. Jung e Hong (202) descrevem a paralaxe como o deslocamento aparente de um objeto distante em relação a um fundo mais distante quando visto de duas posições diferentes.

A partir desse ponto, diversos trabalhos da computação visual e ciências da computação criam técnicas e algoritmos para minimizarem os efeitos de emendas, criando ambientes cada vez mais próximos da realidade capturada.

Brown e Lowe (2007) apresentam um método automatizado para costura de imagens panorâmicas pode ser alcançada com eficácia utilizando algoritmo. O método permite identificar e, conseqüentemente, alinhar imagens com deslocamento sutil, gerando panorâmicas amplas com transições suaves.

Segundo Toscano et. al (2024), os sistemas de captura de imagens panorâmicas podem envolver: a) câmeras únicas (fig.2), as quais são rotacionadas em um tripé (um nodal ninja, por exemplo), com captação de várias imagens e posterior processamento por *software* específico unindo-as (costura ou stitching). b) câmeras múltiplas, capturando diferentes áreas simultaneamente (fig.3). c) câmeras omnidirecionais: usam lentes olho de peixe (eyefish lens) ou sistemas de espelhos para capturar toda a cena em uma única imagem. As câmeras 360° são classificadas como omnidirecionais.

As câmeras omnidirecionais, diferentemente das câmeras habituais que possuem campo de visão no máximo 180°, capturam a luz em diversas direções que incidem no ponto focal, abrangendo uma esfera completa. As diversas imagens registradas são unidas em uma única pelo *software* da câmera.

### **2.3.3.2 Câmeras Múltiplas**

Os sistemas de câmeras múltiplas são agrupamentos compostos por duas ou mais câmeras posicionadas de forma estratégica, operando de maneira síncrona e campos de visão sobrepostos ou em complementariedade. A captura de uma cena ocorre de modo sincronizado em diferentes ângulos e posições. Dentre os benefícios destes registros estão a possibilidade de reconstrução 3D por fotogrametria, operação de Realidade Aumentada e Realidade Virtual, captura de imagens 360° com baixas ou imperceptíveis distorções.

Sistemas de câmeras múltiplas consistem em um conjunto de câmeras distribuídas espacialmente que capturam a cena simultaneamente a partir de diferentes perspectivas. Esses sistemas são utilizados para obter campos de visão mais amplos, maior resolução espacial ou para a estimativa de profundidade e a reconstrução em 3D (Zhang et al., 2020).

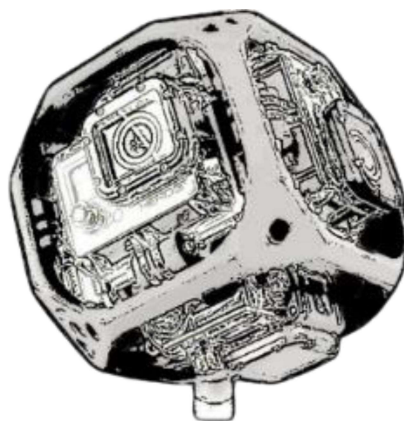


Figura 19 – câmeras múltiplas semelhantes aos modelos freedom360 e 360 hero ou outros modelos disponíveis no mercado (Toscano et. al, (2024)).



Figura 20 – câmeras múltiplas freedom360 e 360 hero (Lee et. al, (2016)).

Segundo Feng et al. (2019), a paralaxe é uma das principais fontes de falhas na costura de imagens, gerando emendas visíveis e distorções perceptíveis no panorama final. O uso de câmeras 360° com múltiplas lentes e captura simultânea, no entanto, minimiza significativamente esse problema, promovendo uma representação mais coerente do espaço tridimensional documentado. Ainda de acordo com os autores, “a câmera pode ser rotacionada sobre o tripé ou múltiplas câmeras podem ser posicionadas em diferentes direções”. Isso possibilita maior precisão na reconstrução 3D e aumenta a sensação de presença no ambiente virtual.

Ainda de acordo com os autores, “a câmera pode ser rotacionada sobre o tripé ou múltiplas câmeras podem ser posicionadas em diferentes direções”. Isso possibilita maior precisão na reconstrução 3D e aumenta a sensação de presença no ambiente virtual.

### 2.3.3.3 Câmeras 360°



Figura 21 – Câmera GoPro Max , insta360 x3 e bastão telescópico (retiradas dos sites da GoPro e Insta360)

As câmeras 360° comumente encontradas no mercado são soluções portáteis que geram capturas de imagens esféricas, com utilização potencial para soluções imersivas. São compostas de duas lentes grandes angulares (chamadas também de *ultra wide-angle*), com posicionamento em sentidos opostos. As lentes realizam captura de aproximadamente 180° de campo de visão, o que torna possível o registro do ambiente de modo global.



Figura 22 - sistema de lentes duplas grandes angulares da Gopro Max.

Após a captura, existe um algoritmo de costura (“stitching”) que une as duas imagens hemisféricas em uma imagem esférica. Esse processo é realizado de modo autônomo pela

câmera ou com auxílio dos *softwares* nativos – *GoPro Quik* e *Insta360 Studio*. As distâncias focais dessas câmeras são de aproximadamente 8mm para a GoPro e 6,7mm para a Insta360 X3.

De acordo com Nascimento e Cirne (2021), as câmeras 360°, diferentemente das máquinas convencionais, são capazes de registrar imagens em todas as direções e sentidos ao mesmo tempo. Isso porque contam com duas ou mais lentes que, após a captura, por meio de um *software*, unem imagens capturadas fornecendo uma visão 360° do ambiente.

Como relatado no trabalho de Abate et al. (2017), com utilização de câmeras 360° de baixo custo foi possível realizar coberturas espaciais, posteriormente convertidas em modelos tridimensionais com alta densidade. Esse relato é especialmente importante, pois, ainda que existam certas deformações nas imagens esféricas, é possível a geração de tridimensionalização completa a partir das câmeras.

Para o contexto forense, Dang et al. (2014) sugerem a utilização das imagens panorâmicas completas semi-imersivas como uma forma complementar à documentação convencional.

Cabe destacar que o uso de câmeras de ação comerciais, como a GoPro Max e a Insta360 X3, mostra-se especialmente eficaz no contexto da perícia criminal, pois são resistentes, portáteis, possuem boa performance em situações imprevistas e ambientes complexos, além de viabilizarem registros rápidos e com ampla cobertura espacial. Sua aplicação favorece a flexibilidade operacional e a segurança na coleta de evidências visuais, além de serem câmeras econômicas e acessíveis, com resistência a intemperes.

A estereofotografia, conhecida como fotografia estereoscópica, baseia-se na técnica para criar uma ilusão de profundidade 3D em imagens. Dessa forma, o processo resume-se em capturar duas ou mais fotos ligeiramente de ângulos diferentes, simulando a visão humana. Quando visualizadas juntas, cria-se o efeito de tridimensionalidade. A projeção da imagem equiretangular com uma proporção de 2:1 de largura e altura é utilizada para a formação das imagens estereoscópicas.

Em contextos que fogem apenas à atividade externa do perito criminal, as imagens 360° têm sido utilizadas como ferramenta a métodos tradicionalmente conhecidos de detecção de vestígios latentes. Clarke, Grant e Hall (2023), realizaram uma adaptação na câmera Insta360 One X2 com utilização de filtros de detecção e fonte de luz para localizar preliminarmente fluidos de natureza biológica. Este estudo mostra que ferramentas de baixo custo aliadas a equipamentos comumente existentes no contexto forense podem ter utilidades em laboratórios ou mesmo em locais de crime.

Bertel, Yuan, Lindroos & Richardt (2020) desenvolveram o omnifotografias, um novo método para capturar rapidamente panoramas de alta qualidade em 360° com paralaxe de movimento. Eles utilizam uma câmera de vídeo 360° de consumo montada em um bastão de selfie rotativo para capturar cenas em apenas 3 segundos, significativamente mais rápido do que os métodos atuais utilizando-se de uma câmera *Insta360 one X*. OmniPhotos melhora a qualidade de renderização visual ao reduzir distorções verticais usando uma geometria de *proxy* deformável. Este novo método oferece captura rápida, renderização em tempo real e paralaxe de movimento de alta qualidade simultaneamente, atendendo a uma necessidade importante na área. Foi validado em vários cenários, mostrando-se promissor tanto para consumidores casuais quanto para profissionais.

Abate et al. (2017), relatam trabalhos realizados no contexto forense com uma câmera 360° de baixo custo – Ricoh Theta SC, avaliando sua capacidade de gerar imagens e modelos 3D (especificações de sensor de 12 MP; abertura fixa (f/2.0) e lente de 1.3 mm). As imagens capturadas foram simuladas e os resultados 3D mostraram que o sistema é eficaz para registrar documentações em locais de crime. É importante frisar que esses são ambientes controlados, como boa parte dos estudos forenses os são. Entretanto, é necessário maior avaliação dos resultados em campo, na atividade-fim e na execução da técnica e dos resultados finais, bem como a percepção dos pares e do resultado final.

O uso de câmeras 360°, quando utilizadas simultaneamente, no mesmo eixo ou de dispositivos de múltiplas câmeras em diferentes posições para geração de fotografias panorâmicas, se deve principalmente à diminuição de distorção de imagens e da diminuição do efeito paralaxe, além de aumento de resolução. Frisa-se que a presente pesquisa foca na operacionalização mais simples possível da imagem, de forma a tornar prática e efetiva a captura e pós-produção do material, uma vez que o objetivo da pesquisa orbita sobre a aplicabilidade real. Contudo, serão descritos métodos encontrados na literatura com maior refino de imagens, de forma que torne a abordagem mais ampla, uma vez que um grande volume de publicações busca soluções de distorção e ganho de resolução, sendo consideradas complexas para a aplicação cotidiana na perícia criminal, mas que não serão excluídas de análise.

Nessa esteira, o trabalho de Matzen, Cohen, Evans, Kopf & Szeliski (2017) é um exemplo de uso complexo de câmeras 360° combinadas com auxílio de tratamento posterior por *software* e algoritmo. Os autores desenvolvem um método acessível para capturar fotografia 360° e vídeo 360° usando câmeras de ação comerciais. A abordagem envolve o uso de duas câmeras *Ricoh Theta S 360* montadas em uma barra de alumínio para criar fotografias

panorâmicas omnidirecionais (em todas as direções). O método atende à necessidade de imagens para realidade virtual de baixo custo, aproveitando equipamentos disponíveis no mercado, reduzindo os custos em comparação com os dispositivos profissionais, e garantindo noções de profundidade mais precisas.

Bertel, Mühlhausen, Kappel, Bittner, Richardt & Magnor (2020) desenvolveram um método para aprimorar a fotografia para realidade virtual com 6 graus de liberdade (6-DoF) ao adicionar paralaxe de movimento aos panoramas estereoscópicos omnidirecionais (ODS). Isso permite a criação de experiências de realidade virtual em 6DoF. O resultado para uma experiência é importante para melhoramento de imagens e uso de realidade virtual. Esse trabalho mostra-se importante, sobretudo para realizar fotogrametrias com uso de câmeras 360°.

### 2.3 TOURS VIRTUAIS

Os *tours* virtuais são montagens panorâmicas em que o usuário pode navegar pelo ambiente capturado dentro de limites que permitem mobilidades em três eixos principais, ou seja, em três graus de liberdade (3 DoF – Three Degree of Freedom).

Quando utilizados em Locais de Crime – *Tours* Virtuais em Locais de Crime (TVLC) podem gerar resultados surpreendentes, ainda que não tenham a propriedade de gerar o escaneamento do local e sua tridimensionalização.

Área do conhecimento	Aplicação	Benefícios	Referências
Educação	Ambientes virtuais e de aprendizagem, <i>tours</i> educacionais e a produção de laboratórios virtuais.	Imersão com aumento da motivação de explorar o ambiente e interesse pelo observado.  Aumento significativo da retenção do conteúdo.	Li (2023);  Huang et al. (2021);  Yang & Chang (2020);

Turismo	<i>Tours</i> virtuais com mapeamento de destinos aos turistas.  Pontos históricos e culturais.	Promoção de destinos, engajamento e familiaridade com o local, acessibilidade, auxílios aos usuários para tomar decisões.	Luo et al. (2023);  Zhang & Lee (2022).
Ciências Forenses e Perícia criminal.	Documentação.  Análise de vestígios.  Apresentação de provas em tribunais.  Novas propostas de apresentação do produto do trabalho forense.	Registro do ambiente completo  Compreensão espacial  Integração com laudos Aumento da inteligibilidade do local	Gardner et al. (2022);  Tung et al. (2015);  Johson et al. (2022);  Toscano et. al (2024) e O.M.R.V e Penna (2023).
Experiência do Usuário, Marketing e Publicidade.	<i>tours</i> virtuais interativos com controle do usuário para promoção de produtos e locais.	Sensação de Telepresença no ambiente e engajamento emocional;  Atitudes positivas em relação à marca;	Spielmann & Mantonakis (2018)
Arqueologia	Registro de sítios arqueológicos;  Reconstituições históricas virtuais.	Preservação digital histórica;  Acesso remoto;	Abate et al. (2027)

Tabela 2 – Uso de imagens panorâmicas, fotografias 360° e *tours* virtuais (produzido pelo autor)

Liao et al. (2015) descreve que “os *tours* virtuais de cena de crime proporcionam uma forma de reconstrução 3D do ambiente, integrando elementos visuais, posicionamento e simulação da ocorrência”. O uso de câmeras comuns e *softwares* de modelagem permite reconstituições realistas e acessíveis, especialmente em contextos com restrições orçamentárias.

Para realizar a integração das fotos em *tours* virtuais, é necessário do uso de uma plataforma privada ou de um *software*. Segundo Tung et. al (2005), um *software* especializado de *tour* virtual permite que múltiplas fotografias esféricas capturadas em diferentes locais de crime sejam interligadas sistematicamente para permitir que o usuário virtualmente “percorrer” o local. Ainda existe a possibilidade de *Hotspots* serem incluídos para apresentar imagens em close-up, resultados e informações na visualização do cenário.

O *tour* virtual é uma ferramenta com grandes possibilidades de documentação e visualização, favorecendo o uso de tecnologias imersivas ou mistas, com o uso de realidade virtual e aumentada. Para Tung et. al(2015), que se utilizaram de *tours* virtuais focados na documentação de evidências, o descreveram de baixo custo, além de aumentar a compreensão das evidências por parte do júri e dos clientes finais, principalmente para crimes complexos.

Das diversas possibilidades, os *tours* virtuais são ferramentas com grande potencial, visto que ajudam na documentação e visualização a um baixo custo, geram acessibilidade, integração de diversos resultados e melhoria da compreensão das evidências. Em se pensando que todos os documentos da Superintendência de Polícia Técnico-Científica compõe o inquérito policial, anexos aos demais meios de prova, a visualização do local, por meio desta tecnologia, funcionaria como um inquérito científico, com a possibilidade da inserção de múltiplos resultados apensados ao produto, uma vez que, após o atendimento do local, vários exames podem ser requisitados pelo perito de local, dentre eles: exames de DNA, toxicológicos, engenharia, informática, drogas, dentre outros.

O *Tour* Virtual do Local do Crime (TVLC) proporciona uma abordagem para a reconstrução de um local tridimensional virtual, o que possibilita aos investigadores retornarem aos locais e explorarem a cena por meio de um *tour* virtual. Quando comparada às fotografias tem-se mais que um álbum de fotos, com um produto de ambiente integrado e revisitação de onde ocorreu o crime. A integração a outras tecnologias, a exemplo da fotogrametria ou animações gráficas, pode aumentar os potenciais da ferramenta.

Ademais, a trajetória balística pode ser simulada no TVLC, uma vez que este fornece um roaming virtual, sendo possível, inclusive, simular as dinâmicas correspondentes por meio de animações gráficas, vinculando-a à fotografia panorâmica com *hotspots* (pontos de acesso).

Para Mania & Chalmers (2001), ambientes virtuais podem gerar uma experiência imersiva. As condições de diferentes níveis de imersão afetam a percepção de presença - estar presente em tempo e espaço em um local particular. Dessa forma, a criação de ambientes virtuais delineados pode favorecer a retenção de detalhes críticos, aliada a um considerável aumento da sensação de presença.

De acordo com Spilemann e Mantonakis (2018), em uma pesquisa realizada como elementos de interatividade controlada pelo usuário em *tours* virtuais, podem-se destacar: a) os elementos de interatividade pelo usuário – a interação ativa dos usuários com *tours* virtuais cria uma sensação de controle e influência positiva sobre a experiência do usuário; b) telepresença – sensação de estar imerso em ambiente virtual, neste contexto a pesquisa sugere que a telepresença, resultante da interatividade pode ocasionar atitudes mais favoráveis em relação ao objeto; c) carga cognitiva: o esforço mental necessário para processar informações durante a interação com o *tour* virtual, mediados pelos fatores de telepresença, interatividade e atitudes do usuário.

Quando utilizada a realidade aumentada com dispositivos de Realidade Virtual (a exemplo dos Head-Mounted Displays – HMDs), tem-se a realidade mista para os *tours* virtuais. O sistema 360Drops, sistema de câmeras criado no estudo de Teo et al. (2019), combina vídeos panorâmicos com cenas reconstruídas em tridimensionalidade. É possível a melhora da compreensão remota de um ambiente e colaboração eficiente entre os usuários. Outro ponto importante para se avaliar em estudos futuros é também a modelagem criada a partir de câmeras 360°, embora menos precisas e informativas em termos de dados para fotogrametria, podem representar alternativas frente a orçamentos enxutos.

Bertel, Campbell & Richardt (2019) desenvolveram o *MegaParallax*, um método para capturar fotografias 360° com movimento usando vídeo de uma câmera 360° para criar fotografias em multiperspectiva.. Ele envolve capturar vídeo em um movimento circular, reconstruir as imagens da câmera e gerar um fluxo óptico entre as câmeras. O método fornece visualizações em tempo real e de alta resolução com paralaxe de movimento, tornando-o acessível para diversas aplicações.

Boukerch et al (2021), discutem um sistema projetado para criar *tours* virtuais interativos usando imagens panorâmicas de 360°. O foco principal é o uso de câmeras de consumo de baixo custo e smartphones para aquisição de dados e integração em ambientes de

mapeamento. O sistema inclui uma configuração de baixo custo usando uma câmera de vídeo panorâmica comercial e um aparelho celular. O *smartphone*, equipado com sensores de GPS, giroscópio e acelerômetro, registra dados posicionais e de atitude. Um aplicativo Android, "*Road Recorder*", captura esses dados em frequências especificadas. O foco principal é o uso de câmeras de consumo de baixo custo e *smartphones* para aquisição de dados e integração em ambientes de mapeamento.

Manea, Ghicioi, Tuhuț e Șuvar (2022) desenvolveram um método para documentar explosões e incêndios usando equipamentos de consumo. Eles usaram câmeras *Ricoh Theta S 360* para criar conteúdo acessível para Realidade Virtual, tornando-o acessível a um público mais amplo. A técnica envolve capturar vídeo em um caminho circular, reconstruir as poses das câmeras e gerar fluxo óptico entre as câmeras para fornecer visualizações em tempo real e de alta resolução com paralaxe de movimento. O método foi validado através de estudos de caso, demonstrando sua robustez e versatilidade em vários cenários de investigação de incêndios e explosões.

## 2.4 CRIPTOGRAFIA

O uso da criptografia é de suma importância para que se integre aos destinatários finais produtos íntegros, os quais podem ser atestados a fidedignidade das informações, os quais saiam da produção da linha pericial e possam ter sua custódia atestada a qualquer tempo, por metodologia replicável.

A indústria, em específico, a indústria 4.0, é impulsionada pela integração das mais variadas tecnologias de T.I, incluindo-se automação, sistemas ciber-físicos e IoT (Internet das coisas). Nesse contexto, segurança e confiança são preocupações primárias, sendo necessários padrões explícitos para garantir precisão e produtividade.

Segundo Vyas, S., & Gupta, S. (2022), a blockchain oferece transparência, segurança e rastreabilidade em transações em um sistema integrado. Os blocos são assinados digitalmente e vinculados criptograficamente, tornando os dados imutáveis.

A criptografia em blockchain na indústria 4.0 possui uma crucial importância e visa à integridade de dado. Por definição, a tecnologia permite a transparência e integridade de informações, dispensando-se uma autoridade central. Dividem-se em grandes grupos:

- 1) Assinatura digitais: par de chaves são utilizados, realizando-se assinaturas digitais, as quais garantem autenticidade e integridade, para posterior envio à rede *blockchain*. A alteração após a transação ocasionaria

invalidade da assinatura.

2) Criptografia de chave pública e privada: nesse modelo, cada usuário detém uma chave pública e privada, respectivamente. A criptografia gerada pela chave pública de um usuário pode ser apenas descriptografada pela chave pública correspondente do destinatário.

3) *Hashing*: o principal modelo criptográfico de *hashing* é o SHA-256, o qual cria e verifica a integridade dos blocos. Os blocos gerados possuem interconectividade, ajudando a coibir alterações retroativas.

Segundo Sharma & Villányi (2022), no uso do hashing os blocos são assinados digitalmente e contém o valor hash do bloco anterior. Novos blocos só podem ser adicionados ao final da cadeia, portanto, as transações existentes não podem ser atualizadas ou detectadas. São armazenamentos imutáveis.

Em se tratando do algoritmo SHA-256 (*secure Hash Algorithm 256 bits*) é um algoritmo *hash* criptográfico que produz um valor *hash* de 256 bits para uma entrada dada. O *hash* é uma sequência de números e letras únicas, as quais visam a gerar a integridade de determinado arquivo. O método possui rapidez em sua produção, com inviabilidade de se encontrar o mesmo valor para duas entradas diferentes, não se conseguindo construir a entrada que deu origem ao hash a partir de seu código.

Devido à necessidade de personalização em massa na indústria 4.0, métodos de fabricação não tradicionais precisam ser desenvolvidos. Assim, a manufatura aditiva pode se tornar uma tecnologia-chave para a fabricação de produtos personalizados devido à sua capacidade de criar objetos sofisticados com atributos avançados, com novos materiais ou formas.

### **3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA CIENTÍFICA**

Em vista dos objetivos que se seguem da pesquisa, o capítulo 3 destinará a classificar a pesquisa e apresentar os a metodologia para o alcance destes. O método científico é definido como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permitem alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista. (Marconi e Lakatos, 2003).

A pesquisa pode ser classificada como exploratória, quando observados os objetivos – geral e específicos – o qual visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torna-lo mais explícito ou a construir hipóteses (Lakatos e Marconi, 2003). O método exploratório é frequentemente usado quando o problema de pesquisa ainda é pouco conhecido e o pesquisador precisa de maior entendimento para definir o problema (Yin, 2001).

Do ponto de vista da pesquisa, esta é classificada como pesquisa aplicada, visto que pode ser entendida como essencial para a progressão do conhecimento científico, destacando seu papel crucial na resolução de problemas práticos e em uma entrega que impacta órgãos públicos, a justiça e a sociedade, por meio da aplicação direta de teorias e métodos científicos. Busca-se, assim, reunir a maior gama de aplicabilidades das ferramentas investigadas, defini-las em procedimentos operacionais, para aplicar à prática forense.

De acordo com a definição de Carlotto (2008), a pesquisa aplicada é caracterizada pela busca de soluções para problemas concretos e específicos, com o objetivo de gerar conhecimentos voltados à aplicação prática e imediata.

#### **3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A pesquisa visa abordar aspectos de praticidade de implementação de captação de locais de crime. Após algumas revisões de bibliografia e análise de custos, escolheu-se a fotografia 360° no contexto da atividade pericial corriqueira, com vistas a produção de *tours* virtuais fotorrealistas. Alguns artigos da área forense relatam por vezes que existe uma considerável resistência de funcionários ou investigadores na implementação de tecnologias 3D, uma vez que a depender do método adotado, pode representar algumas horas de trabalho adicional,

principalmente se se for realizados 3D (em *softwares* CAD). De acordo com descrito no trabalho de Tredinnick, Smith & Ponto (2019), neste trabalho os profissionais forenses têm disponível um *software* chamado *3D Zone*, entretanto não realizam o trabalho, preferindo o uso das metodologias bidimensionais, revelando que existe uma resistência a novas metodologias ou para implementar novas tecnologias. Entretanto, tal como as varreduras de scanners 3D o local pode ser revisitado da qual ele representava globalmente, contudo sem as medidas que o escaneamento entrega como resultado. Ainda segundo o trabalho de Rider, Rodger Ryan (2017), ainda que exista avanços e benefícios potenciais do equipamento de medição a laser 3D, alguns investigadores mostraram resistência devido à mudança necessária nos procedimentos operacionais e à necessidade de treinamento para utilizar efetivamente uma nova tecnologia. Wang et. al (2021) relata que a maioria dos scanners carece de mobilidade e apenas especialistas treinados podem usar esse método com habilidade, resultando em um processo de digitalização demorado.

Dessa forma, buscou-se selecionar uma ferramenta de fácil execução, portátil e de fácil operacionalização, apresentando robustez necessária para a atividade pericial, sobretudo a de natureza externa e que não representassem métodos de escaneamento 3D ou fotogrametria puros, uma vez que podem ser onerosos ou demoram tempo de processamento e pós-processamentos demasiados.

Os métodos de captação 360°, embora não gerem exatidão de medidas, conseguem cumprir a contento a virtualização do local, como método de entendimento. Acredita-se que as implementações de técnicas 3D devem ser gradativas, sendo esta mais simples, quando comparadas as demais técnicas.

O presente objeto de pesquisa não se pretende tornar obsoleto os métodos tradicionais de levantamentos e produção pericial, sendo a proposta de coexistência dos modelos e que estes impactem positivamente o tempo de produção dos laudos periciais. A pesquisa foi dividida em fases, que não necessariamente se desenvolveram sequencialmente.

## FASES

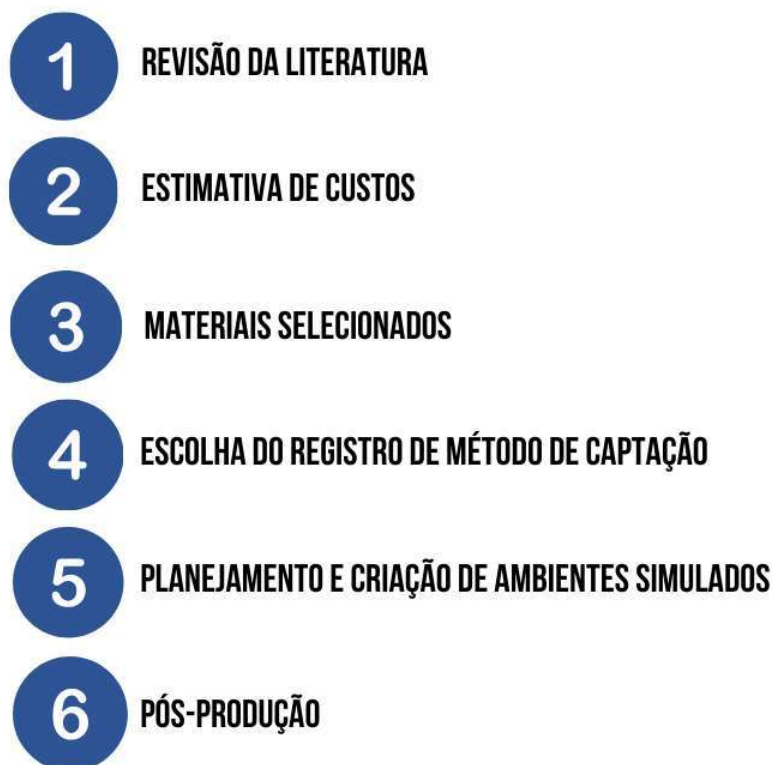


Figura 23: fases da metodologia de pesquisa

### 3.2.1 FASE 1. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica teve caráter exploratório, com combinações dirigidas em bases científicas relevantes – *ScienceDirect*, *Web of Science* e *IEE Xplore*, utilizando também referências cruzadas de artigos relevantes. As buscas foram focadas em artigos produzidos nos últimos 5 anos, contudo, diversos artigos se mostraram relevantes ao tema, ainda que mais antigos.

As palavras-chave foram selecionadas a partir de palavras-chave de outros artigos com maior incidência, com foco em tecnologias digitais que pudessem ser utilizadas pelos peritos criminais, sobretudo de atividade externa, e que se correlacionassem com conceitos da indústria 4.0.

Palavras-chave como “virtual reality” and “crime scene” foram utilizadas para investigar artigos relacionados ao contexto forense e com reconstruções virtuais em locais de crime. Nesse ponto, é importante frisar que parte relevante dos artigos científicos abordam as

técnicas e produtos finais em si, discorrendo sobre vantagens, desvantagens e limitações em ambientes controlados.

Como o foco do trabalho é selecionar ferramentas pouco complexas e de baixo custo, com alta capacidade de execução, muitos trabalhos, embora relevantes conceitualmente, foram excluídos por um ou mais entraves nos objetivos selecionados.

A palavra-chave 3D Scanner and crime resultou em artigos relevantes e de contexto pericial, mostrando avanços significativos na área forense, sobretudo em países com recursos financeiros abundantes e equipamentos mais acessíveis.

Estratégias complementares de utilização das palavras-chave “courtroom” and “digital evidence”, “industry 4.0 and virtual reality” and “augmented reality” e “cryptography and Industry 4.0”, focaram em incorporações de conceitos e soluções para o produto final a que se pretendia produzir, sobretudo no que diz respeito à apresentação de provas nos contextos do processo penal, com fins de introduzir mecanismos de integridade digital, como a hash, para assegurar a cadeia de custódia e robustez jurídica.

Expressões como “learning curve” associada a “Production Engineering” tiveram a finalidade de correlacionar de implementação tecnológica com o esforço temporal que se é exigido para estes novos procedimentos.

Por fim, “virtual *tour* and augmented reality” retornaram artigos com o foco em *tours* virtuais além do uso de realidade aumentada. Palavras isoladas como “virtual *tours*”, “*Tour* virtual”, “fotografia 360°”, “fotografia esférica”, “imagens panorâmicas” e suas variações em inglês também foram utilizadas, além das próprias referências cruzadas de artigos que indicavam técnicas e soluções mais exequíveis em campo a um custo baixo.

### 3.2.2 FASE 2 – ESTIMATIVA DE CUSTOS

Para se estimar os custos para a realização da pesquisa, buscou-se associar o que já é disponível para os peritos criminais, além de equipamentos e *softwares* que fossem de baixo custo.

Com relação aos equipamentos, o foco ficou em torno de câmeras de ação 360° comercialmente vendidas e mais utilizadas e que tivessem compatibilidade com o trabalho de campo, o qual possui forte presença de intemperes e instabilidades, além de geração de arquivos de tamanhos baixos à moderados, que demandem espaço de armazenamento similar às fotos de DSLRs corriqueiramente utilizadas.

Quanto às justificativas técnicas, estas foram:

- 1) Qualidade de Imagem: riqueza de detalhes para registros do local (resolução e HDR).
- 2) Estabilidade e Resistência física: essencial para ambientes externos, com instabilidade, sujeitos à intemperes.
- 3) Facilidade de operação em campo: tempos rápidos de captura e bateria.
- 4) Formato de saída e compatibilidade: facilidade de exportação dos arquivos e compatibilidades com as plataformas digitais.
- 5) Portabilidade e baixo custo: equipamentos que representassem os orçamentos públicos e que não fossem de difícil transporte.

Além da procura ativa em vídeos disponíveis na internet, modelos de câmeras operadas em artigos científicos, foi realizada uma pesquisa em três sites de boa reputação no setor de tecnologia, computação e eletrônicos e para fotógrafos e criadores de conteúdo: *TechRadar*, *Tom's Guide* e *PhotoWorkout*, além dos modelos que sejam mais comercializados no Brasil e que sejam de fácil aquisição. O site *TechRadar* destaca a Insta360 X3 como a câmera mais completa da atualidade e com maior captura imersiva. O *Tom's Guide* destaca a GoPro Max, devida a qualidade de estabilização e desempenho em situações de luz variada. A *PhotoWorkout* destaca a Thetaz1 para ambientes internos e com maior representação fidedigna de cores nas imagens. Segue abaixo os valores médios e pontos positivos e negativos de cada câmera, além das resoluções de vídeos e fotos.

Câmeras	Resolução de Foto e Vídeo	Principais vantagens e Desvantagens	Custo Médio
<i>GoPro Max</i>	Vídeos de 5.6K e 16.6MP.	Estabilização excelente. Resistente à água. Menor Resolução de fotos entre as concorrentes.	R\$ 3.600 a 4.500
<i>Insta360 X3</i>	Vídeos de 5.7K e imagens de até 72MP.	Estabilização com recursos avançados. Requer aprendizado para trabalhar com as funções.	R\$ 3.400 a 4.500

<i>Insta360 One X2</i>	Vídeos de 5.7K e imagens de 18.4MP		R\$ 2.700 a 3.800
<i>Ricoh Theta Z1</i>	Vídeos de 5.7K e imagens de até 23MP	Suporte a arquivos RAW.	R\$ 6.500 a 8.000
<i>Ricoh Theta X</i>	Vídeos de 5.7K e imagens de até 60MP		R\$ 5.500 a 7.000

Tabela 3 – Dados pesquisados em janeiro de 2025.

### 3.2.3 FASE 3 – MATERIAIS SELECIONADOS

Com o objetivo de escolher materiais acessíveis e de baixo custo, que representassem as atividades periciais, foram escolhidas as câmeras abaixo, bem como os acessórios de tripés, armazenamento e iluminação artificial.

- **Canon EOS Rebel SL2:** câmera DSLR com sensor APS-C de 24,2 MP, processador DIGIC 7, gravação de vídeo em Full HD (1080p a 60fps), tela LCD articulada sensível ao toque, conectividade Wi-Fi/Bluetooth, peso aproximado de 453g.
- **Cartão de Memória V30:** Classe de velocidade de vídeo V30, com gravação sustentada mínima de 30 MB/s, compatível com gravações Full HD e conteúdo em 360°.
- **GoPro Max:** câmera de ação com captura de vídeo em 360° em 5.6K a 30fps, fotos de 16,6 MP, estabilização Max HyperSmooth, 6 microfones embutidos, à prova d'água até 5m.
- **Insta360 X3:** câmera esférica com vídeo 360° em 5.7K a 30fps, fotos de até 72MP, tela touchscreen de 2,29", estabilização FlowState com Horizon Lock, à prova d'água até 10m.
- **Refletor de LED Andoer:** iluminador portátil com LED de luz fria ou quente, temperatura de cor 2500k a 6500k, potência de aproximadamente 10W, bateria recarregável de 2000mAh.
- **Bastão telescópico com tripé” pé de galinha”:** Bastão de fibra de carbono com o alcance de 3 metros e tripé estabilizador de superfícies.
- **Software:** para a montagem dos *tours* virtuais será utilizado o 3DVista.

Para o registro de aplicação serão utilizadas 02 (duas) câmeras de ação com função de captura 360° – Insta360 X3 e GoPro MAX:

Especificações	Insta360 X3	GoPro Max
Sensor	½” 48 MP	CMOS (dois sensores)
Resolução de vídeos	360°: 5.7k (5760 x 2880) a 30/25/24 fps Modo de lente única: 4K (3840 x 2160) e 18 MP (5952 x 2976)	360°: 5.6k (5376 x 2688) a 30 fps Modo lente única (hero): 3.6k (2272 x 1472) a 60 fps, Full HD (1920 x 1440) a 60 fps, Full HD (1920 x 1080) a 60 fps
Resolução de fotos	72 MP (11968 x 5984) e 18 MP (5952 x 2976)	16.6 MP (5760 x 2880)
Tela	Touchscreen: 2.29”	Touchscreen: 1.7”
Estabilização	FlowState com giroscópio – 6 eixos	Max HyperSmooth com estabilização eletrônica
Áudio	4 microfones	6 microfones
Conectividade	Wi-fi 802.11ac, Bluetooth 5.0, USB-C	Wi-fi, Bluetooth, GPS e USB-C
Armazenamento	MicroSD de até 1TB	MicroSD de até 256 GB

Tabela 4 – comparação Insta360X3 e GoPro MAX



Figura 24 - câmera GoPro Max (site do fabricante)



Figura 25 – Insta360 x3 (site do fabricante)



Figura 26 – Tripé “pé de galinha” e bastão telescópico de carbono de alcance de 3 metros.

Além das câmeras 360°, será utilizada câmeras DSLR, equivalente às utilizadas pelos peritos criminais no Estado de Goiás:

Especificações	Canon SL2 (EOS 200d)
Sensor	CMOS APS-C de 24,2 megapixels (22,3 mm x 14,9 mm)
Processador de Imagem	DIGIC 7
Autofoco	Autofoco Dual Pixel CMOS AF (modo Live View) 9 pontos de foco (pelo visor ótico)
Tela	Touchscreen: 3.0” articulável
Sensibilidade ISSO	ISSO 100-25600
Conectividade	Wi-fi e Bluetooth
Armazenamento	SD, SDHC e SDXC

Tabela 5 – Especificação da canon SL2



Figura 27 – Canon SL2 EOS (imagem do site do fabricante)

O custo médio para se montar um kit mínimo para captura e pós-produção é aproximadamente R\$ 7500,00 reais. Entretanto, a depender da escolha de qualidade e marcas dos materiais, poderão ter expressiva variação nos preços.

Item	Especificações	Preço Estimado (R\$)
Cartão de Memória V30 128GB	SanDisk Extreme Pro U3 V30 128GB, gravação sustentada mínima de 30MB/s, ideal para vídeos 360° em alta resolução.	230,00
GoPro Max	GoPro Max 1ª geração:	3500,00
Refletor de LED Andoer	Iluminador portátil com temperatura ajustável ( de baixíssimo custo)	167,56
Bastão telescópico com tripé “pé de galinha”	Bastão de fibra de carbono com 3 metros de alcance, com base estável.	550,00
<i>Software</i> 3DVista Virtual Tour Pro	Licença vitalícia do <i>software</i> (custo médio do euro)	2.927,48

Tabela 6: preço médio de um *kit* para captura e pós-produção

### 3.2.4 FASE 4 – ESCOLHA DE MÉTODO DE REGISTRO

Dentre os métodos de registros para criação de fotografias 360°, optou-se pela técnica One Shot (disparo único), no ponto de fixação da câmera, para posterior pós-processamento e

montagem. Como relatado na revisão bibliográfica, existem diversas formas de se criar panorâmicas completas ou fotografias 360°.

Foram estimados registros em local ao redor dos corpos das vítimas, em no mínimo 3 planos distintos: aos pés da vítima, pelas vistas laterais e no plano mais próximo à cabeça.

No local não houve marcação definida no chão para os registros fotográficos, entretanto, quando os registros deveriam servir à pós-produção. Dessa forma, era necessário o registro do ambiente de modo a permitir a navegabilidade e exploração ativa pelo local, além de servirem para refino de produção para um Procedimento Operacional Padrão de captação de imagens 360°.

### **3.2.5 FASE 5 – PLANEJAMENTO E CRIAÇÃO DE AMBIENTE SIMULADO**

Nesta fase, foi feita a criação de um ambiente simulado de local de crime com a utilização de dois manequins com diversos vestígios recorrentes em locais de crime, além de se pensar em um local de crime com deslocamento das vítimas, o que também é recorrente nestes cenários, dado que são eventos dinâmicos.

Adicionalmente, foi desenvolvido sangue artificial com corante culinário (azul, vermelho e preto) e amido de milho, além de ter sido adquirido sangue coagulado artificial, que são vendidos em comércios de fantasia. Além do sangue, foram adquiridos ferimentos artificiais nestas lojas, não apenas para ilustração do evento, mas também para verificar o quanto de resolução era possível ser fornecida pelas câmeras.

A montagem do ambiente foi realizada por dois peritos criminais com experiência em local de crime sem que fosse revelado qual cenário seria montado e quais vestígios conteriam no local, simulando ocorrências que os peritos criminais normalmente atendem.



Figura 28 – sangue artificial produzido para o local de crime simulado



Figura 29 – Manequim com ferimentos artificiais

Para a operação das câmeras 360°, tanto a GoPro Max quanto a Insta360 x3, recomenda-se o domínio prévio dos aplicativos das câmeras, pois ambos permitem o disparo remoto das capturas via *bluetooth*. Este recurso é especialmente útil para registrar cenas sem a presença contínua da equipe pericial, viabilizando capturas quase simultâneas com duas unidades. Os ensaios de uso tiveram início em janeiro de 2023.

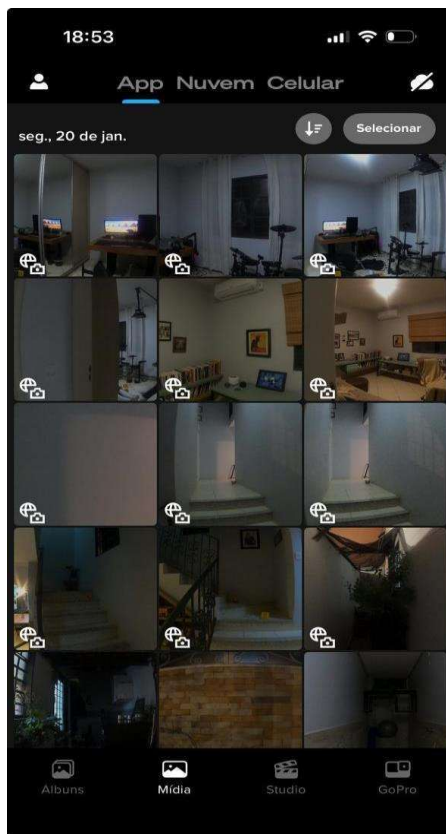


Figura 30 – Interface do aplicativo da GoPro Max – GoPro Quik no celular.

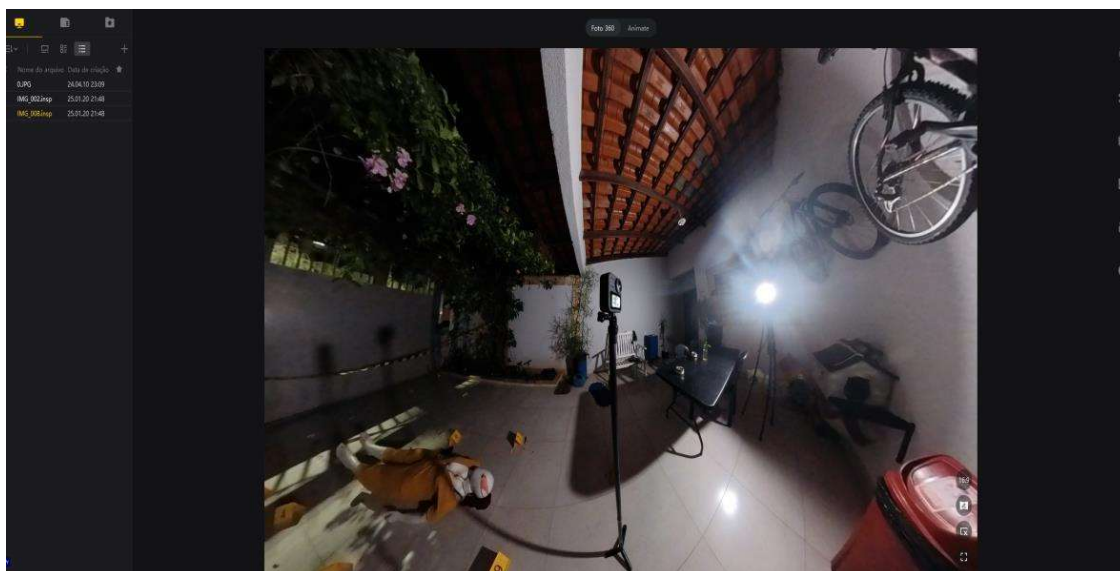


Figura 31 – Interface do aplicativo da Insta360 Studio no computador.

### 3.2.6 FASE 6 – PÓS-PRODUÇÃO

O software escolhido para a produção dos *tours* virtuais foi o 3DVista *Virtual Tour Pro*.

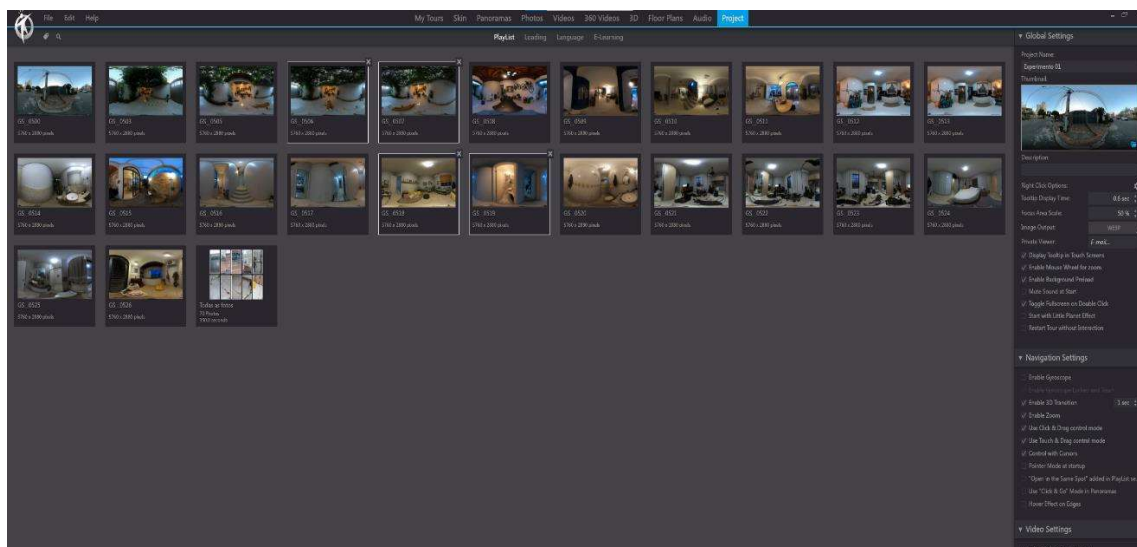


Figura 32 – Interface do 3Dvista

Para escolha de quais *softwares* utilizar ou plataformas *online* foram realizados testes e diversas pesquisas, utilizando critérios que atendessem minimamente os requisitos do contexto policial, da cadeia de custódia e do sigilo das informações, já que o laudo pericial é uma peça técnica que faz parte do inquérito policial. Foram vistos diversos vídeos dispostos na plataforma *youtube* e pesquisas em sites com alta reputação na internet.

Os dados foram extraídos das fontes *SoftwareWorld*, *Momentum 360*, *ThreeSixtyCameras* e *Capterra*, uma vez que se trata de uma pesquisa aplicada, e os sites relacionados são especializados em tecnologia, conteúdo imersivo e em mercados que envolvem *softwares*.

A plataforma *SoftwareWorld* organiza rankings que realizam comparações e análises com base nas funções, valores e nas avaliações realizadas por usuários. A *momentum 360* é uma empresa que tem como base a especialização em *tours Virtuais*, com análise focada na aplicação e produção audiovisual. A *Capterra* é uma base global de avaliação de *softwares* e utilitários tecnológicos, com contexto tanto corporativo quanto governamental. Por fim, a *ThreeSixtyCameras*, como pode se abstrair da tradução, é uma empresa focada na análise de câmeras 360° e a compatibilidade destas com plataformas.

Além das bases citadas, foram consultados os próprios sites das empresas, não apenas para se obter valores, mas também para consumir o conteúdo disponível das próprias ferramentas e soluções criadas, quando disponíveis em versões de teste ou vídeos educacionais e informativos sobre o uso das ferramentas e os potenciais e facilidades de uso. Abaixo seguem os custos dos serviços.

Plataforma	Origem	Preço
MeuPasseioVirtual	Brasil	R\$49,90
Imóvel Virtual 360	Brasil	R\$10 por <i>tour</i>
MonteSeuTour	Brasil	R\$ 129,00 a 299,00 ao mês
Meu <i>Tour</i> 360	Brasil	R\$990,00 ao mês
<i>Tour</i> 360 Virtual	Brasil	Sem resposta do desenvolvedor
Kuula	Internacional	US\$36 ao mês
Roundme	Internacional	US\$8,25 ao mês
CloudPano	Internacional	US\$33 ao mês
VirtualTourEasy	Internacional	U\$ 100 ao mês
Matterport	Internacional	\$269 (dólares) ao mês

Tabela 7 – serviços de nuvem e de *softwares* (produzido pelo autor)

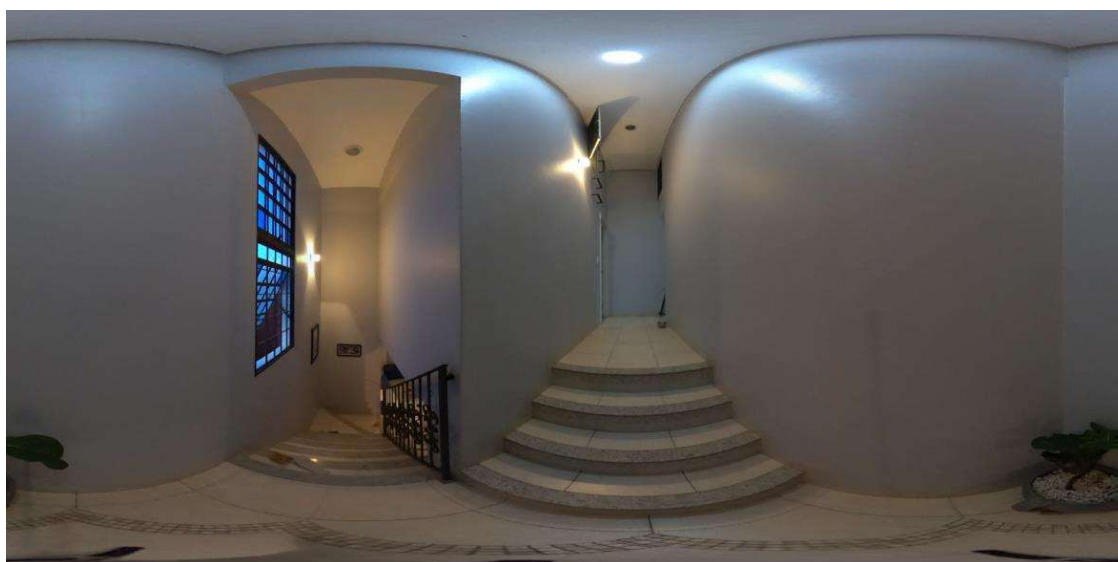
O computador utilizado para montagem dos *tours* virtuais possui as seguintes especificações: processador Intel Core i5-13400F de 13ª geração com 10 núcleos (6 de desempenho e 4 de eficiência), 16 threads e frequência base de 2.50 GHz, 32 GB de memória RAM (31,8 GB utilizáveis), sistema operacional Windows 64 bits e placa de vídeo dedicada NVIDIA GeForce RTX 3060 Ti.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CRIAÇÃO DE *TOURS* VIRTUAIS INTEGRADOS

A partir da utilização para captação de câmeras 360°, obteve-se as fotos esféricas ou 360°. Para gerar comunicação entre elas, ou seja, as montagens panorâmicas, utilizou-se dos modelos comerciais menos onerosos, os quais após as captações é necessário realizar o *upload* do arquivo mediante aplicativo da própria câmera, GoPro Quik e Insta360 ou Insta360 Studio (*desktop*), respectivamente.

O formato extraído, em *JPG*, é uma projeção equiretangular que possibilita que o arquivo de imagem seja direcionado a *softwares* ou a *sites* de hospedagem, embora existam diferenças de *layouts* dos aplicativos, as funções são semelhantes.



**Figura 33 – Imagens equiretangulares na proporção 2:1.**

O *tour* virtual foi construído a partir de pontos de registro com as câmeras 360° GoPro e complementado com imagens planas obtidas com a Canon SL2. A visualização e montagem final no 3DVista permitiu produto de navegação entre os pontos de registro, além de acessassem informações sobre os vestígios (textos explicativos, inserção de imagens close-up, arquivos em PDF, Planta do local e localização). Os POIs (Pontos de Interesse) foram organizados para seguir a sequência lógica da análise pericial, materializando o vestígio e realizando considerações técnico periciais.

O uso da câmera Insta360 x3 foi apenas para comparação com a câmera GoPro quanto à qualidade da imagem e do comportamento in loco, e não houve a contagem de tempo para os registros dessa câmera, entretanto, são praticamente idênticos aos registros da GoPro.

Condição do Registro	Tempo
Sem conhecimento prévio (fim da tarde) – <i>Tour 1</i>	21 min e 33 segundos
Com conhecimento prévio (noturno) – <i>Tour 2</i>	17 minutos e 17 segundos
Com conhecimento prévio (matutino) – <i>Tour 3</i>	11 minutos e 33 segundos

Tabela 8 – Tempos de registros em campo

Para a confecção dos *tours* virtuais não foram estimados tempos cronometrados para confecção, isso porque a produção do primeiro *tour* interfere no tempo de produção do *tour* subsequente, uma vez que se tratam de mesmo evento, além do programa possibilitar a exportação do layout pronto.

Tours	Links
<i>Tour</i> no fim de tarde	<a href="https://pericia40atarde.netlify.app/">https://pericia40atarde.netlify.app/</a>
<i>Tour</i> noturno	<a href="https://pericia40demanha.netlify.app/">https://pericia40demanha.netlify.app/</a>
<i>Tour</i> matutino	<a href="https://pericia40anoite.netlify.app/">https://pericia40anoite.netlify.app/</a>

Tabela 9 – links dos *Tours* produzidos em ambiente de simulação.

A partir das opções nativas do 3DVista foi criado um *Layout* personalizado para os *tours* virtuais. Pode-se ver elementos interativos que explicam ao usuário como ter uma experiência mais imersiva inicialmente, antes de interagir com os vestígios, ao clicar em “informações gerais”.

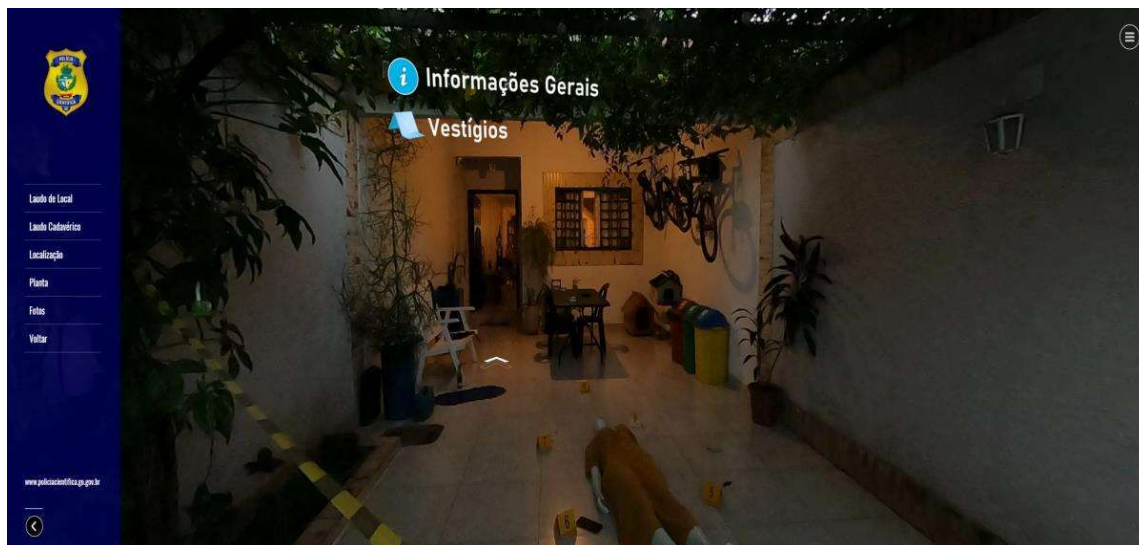


Figura 34 – *Layout* criado para o *Tour Virtual*

Na navegabilidade também é possível a interação com Pontos de Interesse ou *hotspot*. O usuário pode navegar livremente, dentro de três eixos (graus de liberdade) permitindo a compreensão de todo o local e a disposição dos vestígios.



Figura 35 – *Hotspot* ou Pontos de Interesse (POIs)



Figura 36 – Local de crime simulado – vítima 1 - térreo



Figura 37 – Local de crime simulado - vítima 2 - pavimento superior

É importante para que essa ferramenta seja significativa em campo que o processo de captura e pós-produção sejam rápidos e que as preocupações fiquem a cargo do preenchimento das informações técnicas.

Por este motivo, é necessário que o perito criminal ou o fotógrafo criminalístico tenha um procedimento bem delineado, como um Procedimento Operacional Padrão em campo, além de uma metodologia para armazenagem dos dados e pós-produção.

Utilizou-se o 3DVista para montagem das imagens panorâmicas a partir das imagens equiretangulares extraídas, gerando *softwares* de boa qualidade, que pudessem proporcionar interatividade.



Figura 38 – Elementos interativos na imagem

Os recursos para a produção dos *tours* virtuais podem realizar a integração com diversos formatos de arquivos ou mídias disponíveis, como PDFs, croquis do ambiente ou a localização georreferenciada, por exemplo.

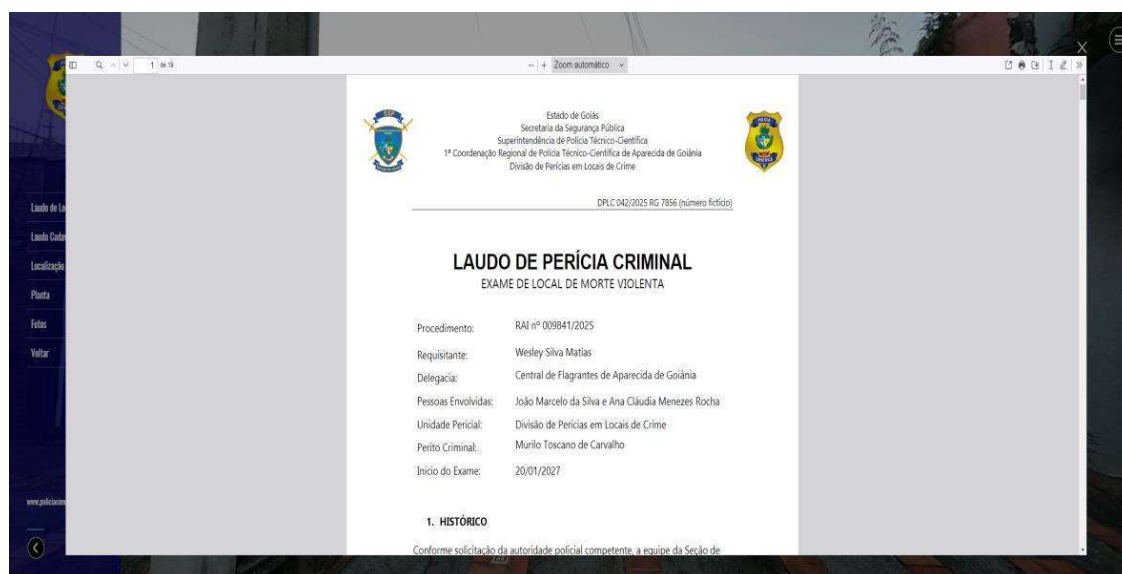


Figura 39 – Laudo de Perícia Criminal inserido no *Tour* em aba específica

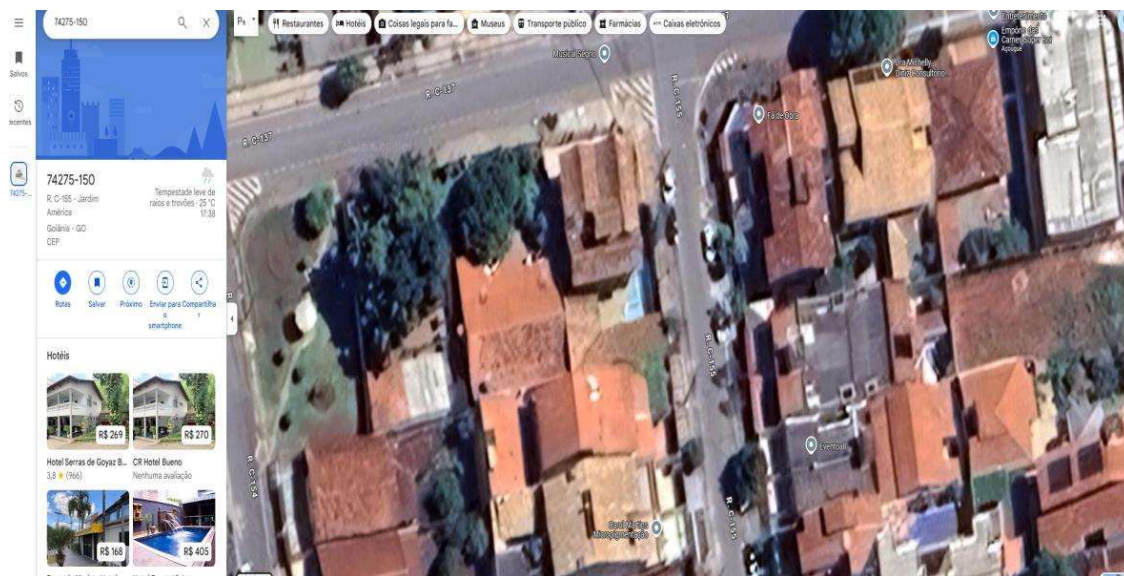


Figura 40 – posicionamento georreferenciado do local onde se deu a simulação.



Figura 41 – croquis disponíveis do local

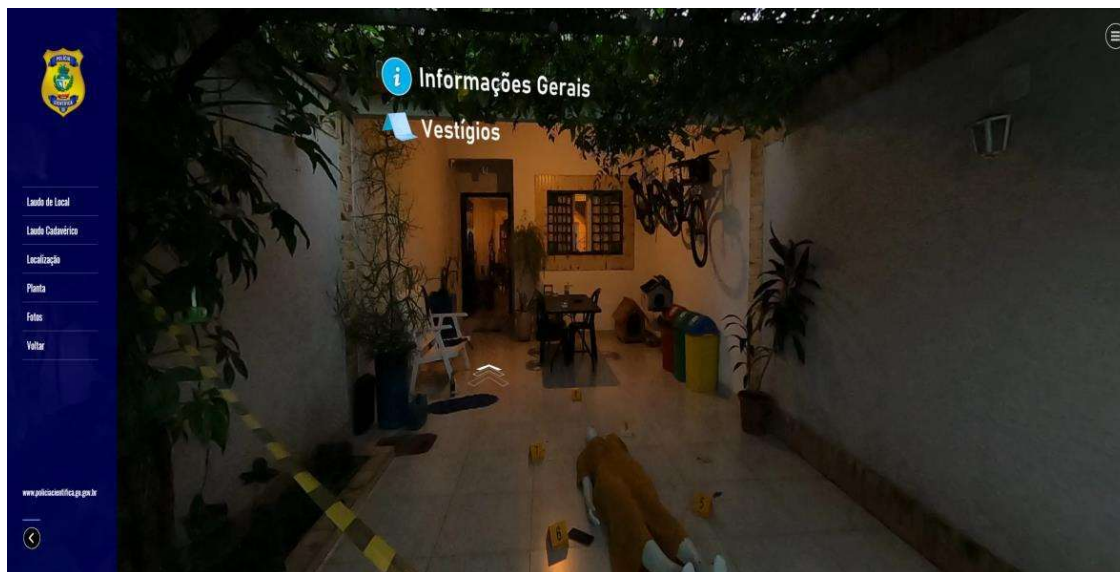


Figura 42 – Informações adicionais para melhorar a experiência de navegabilidade do usuário.

Adicionalmente, houve a tentativa de criação de imagens panorâmicas por meio de um *Iphone 15 Pro* e uma lente adaptada para aparelhos celulares do tipo olho de peixe (marca *apexel*), em substituição ao modelo tradicional de capturas de panorâmicas com câmeras DSLR, lentes olho de peixe e tripé com nodal, para posterior montagem no *Hugin*.

Os resultados não são ruins, entretanto requerem um aprendizado maior e várias fotos (de 10 a 12) para montagem de uma imagem 360°. No contexto a que se propõe, essa técnica é inviável, dada a falta de praticidade ao profissional forense e trabalho despendido.

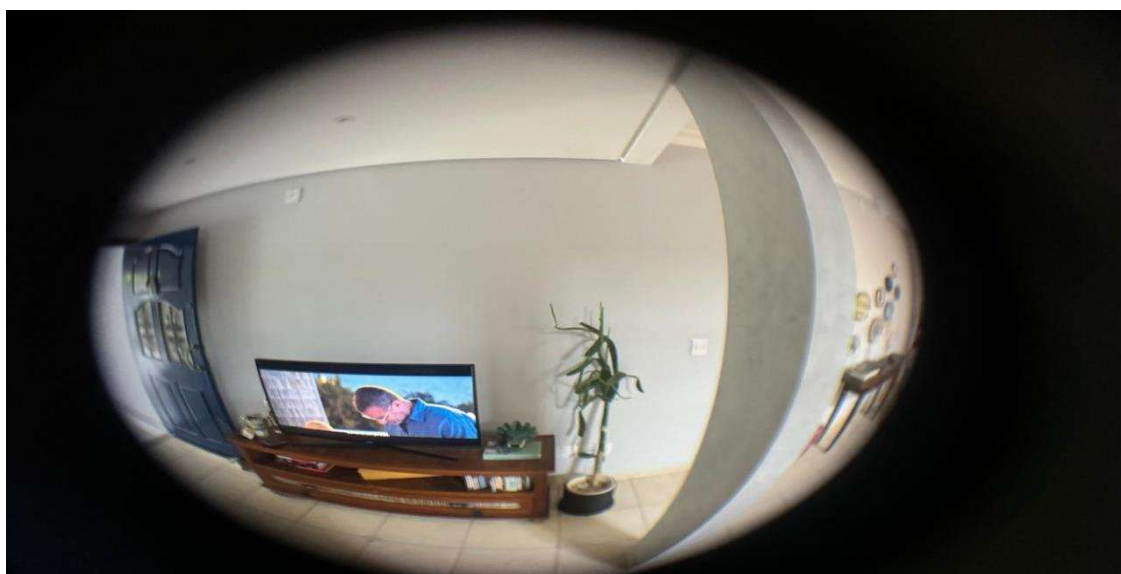


Figura 43 – Imagem panorâmica de jogo de lentes adaptados para celulares



Figura 44 – Montagem de panorâmica. Observar a quantidade de emendas (Seams) na imagem.

#### 4.2. CRIAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP)

Para a confecção de um Procedimento Operacional Padrão – POP foram somadas execuções realizadas com a câmera, além de descrições de funções, de acordo com a vivência no uso e pelos manuais de fabricantes. A parte descritiva de funcionamento da câmera foi focada na câmera 360° GoPro MAX, uma vez que o funcionamento é semelhante às concorrentes comerciais e o uso contínuo de outros modelos pode dirimir dúvidas da operacionalidade por analogia.

Com diversas tentativas de montagens de *tours* virtuais, foi possível desenvolver um Procedimento Operacional Padrão – POP para a captação de imagens 360° com vistas à construção e pós-produção. Logo, é fruto da experimentação e de descrições sucintas na literatura (Giglio-Jacquemin et. al, 2020; Javaid et al., 2021) que definem os nós como pontos de estratégia com vista a navegabilidade e interação do usuário.

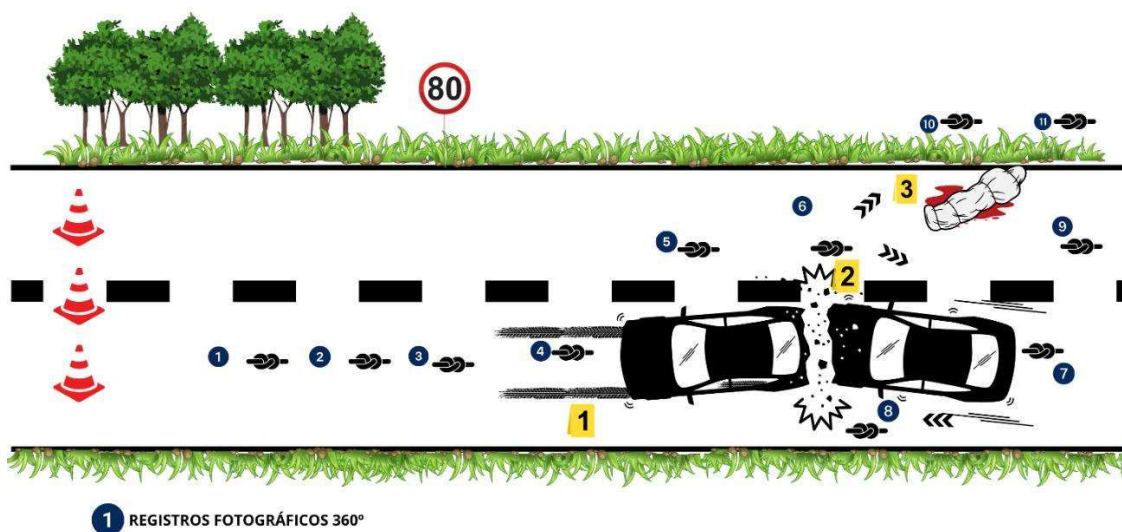


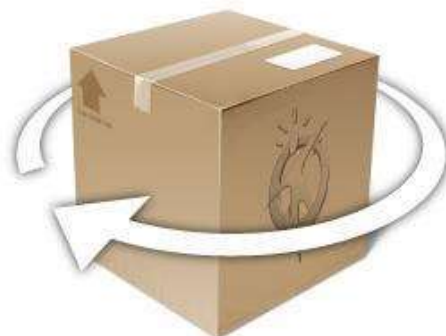
Figura 45: nós e mapeamento de registros fotográficos.

Na imagem é possível ver os nós ilustrados e o números que seguem indicam registros fotográficos como câmeras 360°. Dessa forma, no acidente de trânsito ilustrado acima, deve-se posicionar as câmeras e realizar disparos em locais espaciais dos números. Ainda que não existam vestígios propriamente em alguns locais, é desejável, quando existem grandes deslocamentos, seja de vítimas ou veículos, que se realize os registros para dar a real noção de distância de um evento, devendo-se informar qual o deslocamento que uma vítima ou veículo percorreu.

Além disso, como preconiza as boas práticas de fotografia forense, é necessário a numeração dos vestígios por plaquetas ou adesivos numerados, tanto por uma questão didática, quanto para facilitar a pós-produção.

### 4.3 EXPORTAÇÃO E CRIPTOGRAFIA

Após concluído, as exportações podem ser no próprio serviço de nuvem do 3DVista, em arquivos de hospedagem em serviços da web, por arquivos HTML5 ou em modo de arquivo executável. Esta última é a alternativa que mais se amolda à atividade pericial e para oferecer o produto final, já que ela pode ser visualizada em qualquer computador, desde que baixe o visualizador próprio da empresa, que é gratuito e que pode ser anexo em conjunto com o arquivo executável.



Experimento 1\_Windows

Figura . arquivo autoexecutável.

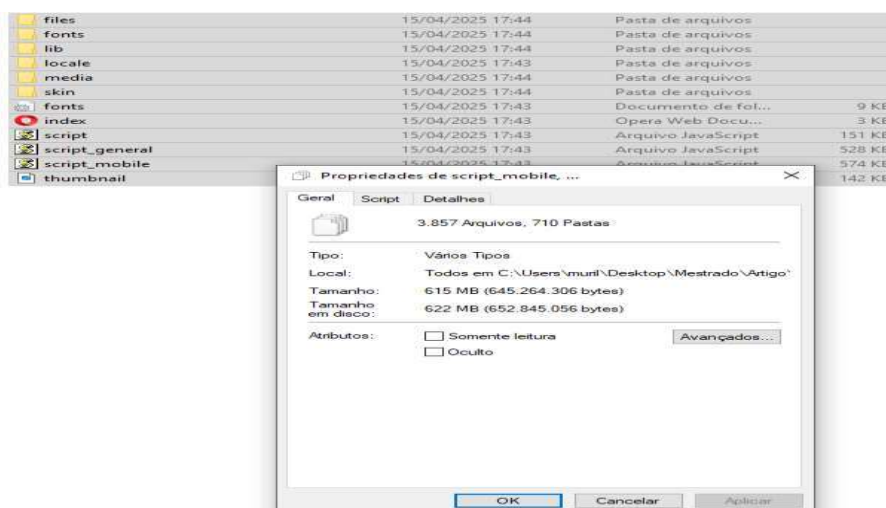


Figura 46: arquivos em formato Html

Como o trabalho é focado em ferramentas com custo baixo e, sempre que possível, gratuitas, foi selecionada a criptografia SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256 bits). A adoção dessa criptografia justifica-se pela eficiência e custo nulo de diversos softwares disponíveis, uma vez que é um padrão público e gratuito, compatível, portanto, com os orçamentos públicos.

Existem diversas ferramentas utilizadas para geração do código Hash, dentre eles: 7-zip (Windows), *shasum* (MACos e linux), *Open SSL* (Linux, macOS, Windows), *CertUtil* (Windows), *shasummer*.

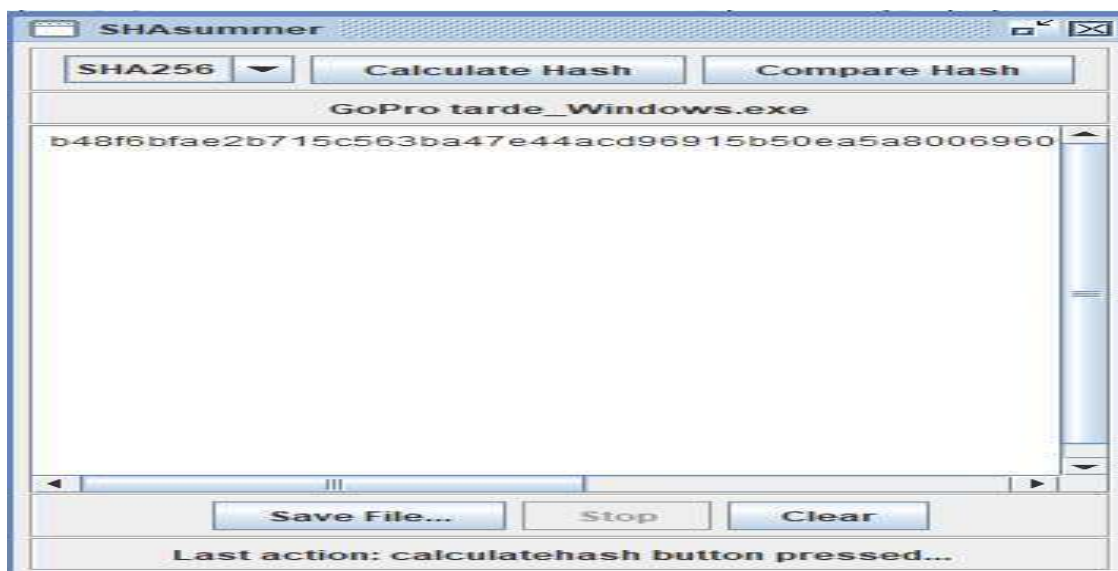


Figura 47 – criptografia utilizando SHAsummer

Para um arquivo executável de *Tour* virtual, o programa gerou em segundos o Hash de criptografia “b48f6bfae2b715c563ba47e44acd96915b50ea5a800696093651735128a0224c GoPro tarde\_Windows.exe”. Esse número hexadecimal representa 64 caracteres e cada caractere representa 4 bits ( $64 \times 4 = 256$  Bits). O programa inclusive fornece a possibilidade de criptografar SHA512, o que é igualmente válido.

Ao utilizar no arquivo que foi exportado em HTML, o programa retornou ou hash 5e4f14344e808503289a8a7da77a36887fc5aed40b3b86be426b2da83389ac7d GoPro a tarde.html.zip.

## 5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 ESCOLHA DO *SOFTWARE*

Após análise comparativa entre as principais plataformas de criação de *tours* virtuais disponíveis no mercado, a ferramenta *3DVista Virtual Tour Pro* foi selecionada como uma das mais adequadas para aplicação no contexto pericial, especialmente na criação de representações imersivas de locais de crime, não se ficando vinculada a esta ferramenta, como descrito anteriormente, existem produtos similares que atendem os requisitos de operacionalização.

A escolha foi fundamentada em critérios técnicos, operacionais e de segurança da informação, conforme os objetivos desta pesquisa aplicada à realidade institucional. Os maiores pesos foram atribuídos à segurança e à privacidade, dada a natureza do trabalho pericial. A adoção de uma escala numérica de 1 (valor mínimo) a 10 (valor máximo) para avaliar objetivou permitir a comparação de diferentes ofertas mercadológicas existentes de forma graduada. Esta abordagem é amplamente utilizada em métodos de avaliação de desempenho (como likert ampliado ou análise SWOT quantificada).

Para o eixo da segurança, considerou-se fatores de exportação *offline*, independência de servidores que são externos à polícia e aspectos que permitissem integridade. O custo permeou aspectos de modalidade de pagamento (mensal ou vitalícia) e que não fosse exorbitante frente aos orçamentos públicos. A usabilidade refere-se à facilidade da interface e a curva de aprendizagem necessária. Por fim, a privacidade refere-se à controle de dados hospedados e ausência de exigência de login.

Outro fator importante que se levou em consideração foi a adesão de marcas mundialmente consolidadas ao software, sendo que neste critério, o *3DVista* possui relevância, quando comparado com a maioria dos demais. Ao longo da pesquisa por um software que atendesse as necessidades da pesquisa e dos órgãos policiais, alguns sites de hospedagem mudaram seu plano de negócio e deixaram de comercializar plataformas de hospedagem, levantando a questão se outros sites poderiam, em algum momento, seguir o mesmo caminho. Quanto a softwares *offline*, existem exemplos que, mesmo a empresa deixando de existir ou mudando os produtos e serviços oferecidos, estes ainda permanecem operantes, sem, contudo, oferecer atualizações, suportes, serviços ou packs adicionais.

Entre os concorrentes analisados, destacam-se plataformas como *Kuula*, *Roundme*, *CloudPano*, *Matterport*, *VirtualTourEasy*, além de plataformas de hospedagens nacionais

como MeuPasseioVirtual e MonteSeuTour. No entanto, todas essas plataformas operam exclusivamente via hospedagem em nuvem, o que representa um obstáculo significativo à segurança da informação e à cadeia de custódia digital, podendo-se prejudicar a validade probatória ou esta ser questionada.

A inviabilidade de exportação offline e a dependência de servidores externos nessas plataformas podem comprometer a integridade, autenticidade e a persistência das provas digitais geradas.

Em contraponto, o 3DVista permite a exportação dos *tours* como aplicações autônomas (executáveis ou em HTML), possibilitando a gravação em mídias físicas e o uso em ambientes isolados da internet.

Outros diferenciais técnicos do 3DVista incluem:

- 1) Suporte a *hotspots* avançados, menus interativos, inserção de vídeos, documentos e mapas;
- 2) Alta compatibilidade com arquivos gerados por câmeras 360° comerciais (GoPro Max, Insta360, Ricoh Theta);
- 3) Estabilidade operacional, com atualizações frequentes e suporte técnico;
- 4) Possibilidade de aplicação de verificação criptográfica por *hash* (por exemplo., a SHA-256) nos arquivos exportados, assegurando a integridade do conteúdo final.
- 5) O *Software* é consolidado há anos no mercado, com parceria firmada com marcas globais.
- 6) Após a aquisição, o programa é vitalício, não necessitando pagamentos de recorrência, o que pode representar um problema à logística pública.

Adicionalmente, embora o custo do 3DVista seja mais elevado em comparação com opções gratuitas ou por assinatura, a licença vitalícia, somada ao controle total sobre o processo de montagem, exportação e segurança dos dados, justificam a escolha da ferramenta para uso institucional. O *software* também se mostrou compatível com os requisitos da pesquisa quanto à navegabilidade, imersão, telepresença e inteligibilidade de ambientes periciados.

Dessa forma, a opção pelo 3DVista reflete não apenas uma preferência técnica, mas uma decisão estratégica orientada pelos princípios da prova técnica pericial, da segurança digital e da confiabilidade institucional.

Alternativamente, outra ferramenta importante que poderia ser utilizada em substituição ao 3DVista é o Pano2VR. O *software* é apontado por muitos especialistas da área de audiovisual como o melhor *software* e possui funções igualmente semelhantes às do

3DVista. Outra vantagem seria a interface mais intuitiva, com ícones mais amigáveis e que tornam o aprendizado mais rápido. Foram feitos testes apenas na versão gratuita disponível no *site* do desenvolvedor.



Figura 48 – Interface de Pano2VR.

Entretanto, o 3DVista ainda se figura como melhor programa, uma vez que para realizar a exportação dos arquivos em HTML5 tem-se que ter maior conhecimento de configurações manuais, além de não ter sido identificada, na versão gratuita, opções de exportação de arquivos executáveis da forma que o 3DVista realiza, sendo necessário a visualização em um software proprietário, o GGPK Viewer (Vieira e Penna, 2023).

Embora não analisado pela simplicidade apresentada, existem *sites* gratuitos também testados, dentre eles, destaca-se o *marzipano* que pode ser utilizado de modo livre, ou seja, gratuito. O *marzipano* realiza exportação em arquivos HTML, podendo ser hospedado em *sites* ou plataformas. Pontua-se, entretanto, que as possibilidades de ferramentas interativas do *marzipano* é bastante limitada.

Outro ponto interessante seria o próprio desenvolvimento da Superintendência de Polícia Técnico-Científica de *software* próprio ou de plataforma de hospedagem para os *tours* virtuais gerados, os quais poderiam ser visualizados por meio de *links*, tal qual os *tours* hospedados. Poderiam ser realizadas parcerias com o Poder Judiciário e Ministério Público para adaptação de sistemas para inserir os produtos digitais.

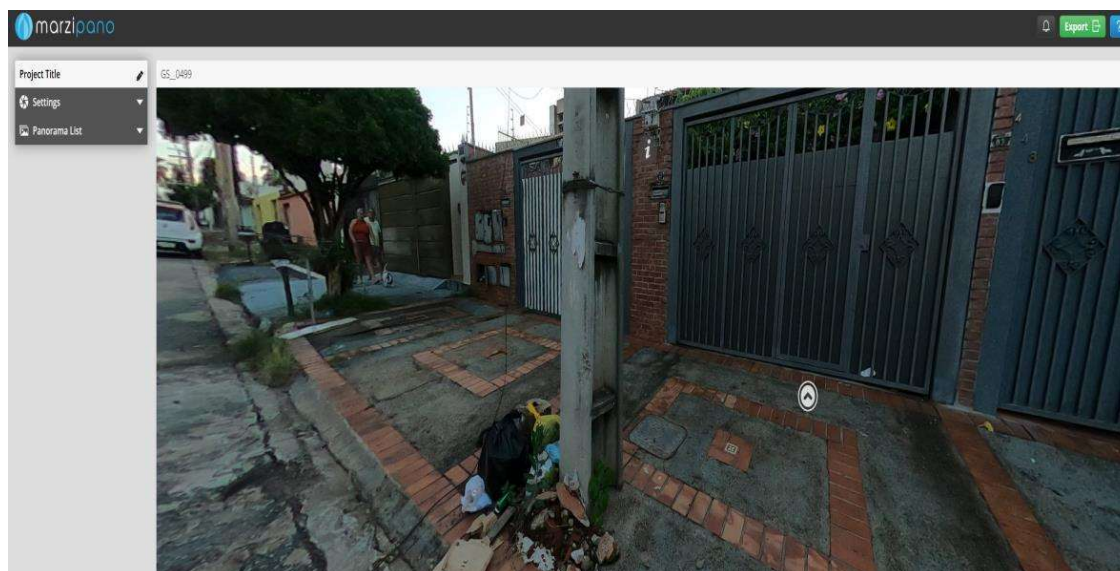


Figura 49 – Interface de *Mazipano*. Uso de hotspot de deslocamento padrão.

## 5.2 IMPORTÂNCIA, VANTAGENS E LIMITAÇÕES DE CÂMERAS 360°

A escolha das câmeras GoPro Max e Insta360 X3 para realização das captações fotográficas em 360° nesta pesquisa foi fundamentada em critérios de robustez, qualidade de imagem, compatibilidade com *softwares* de *tour* virtual e viabilidade econômica.

Ambas são câmeras comerciais amplamente utilizadas em produções audiovisuais e ambientes externos, com forte presença no mercado global e suporte técnico consolidado, o que garante confiabilidade e reposição de peças no contexto institucional. Câmeras similares como a richon Theta também cumprem a função de modo análogo e com desempenho semelhante.

A GoPro Max foi selecionada por sua estabilidade de imagem, estrutura reforçada e por ser à prova d'água. Esta última característica, aliada com a instabilidade de imagem que se adaptam a ambientes que as equipes periciais deparam é um diferencial.

Já a Insta360 X3 apresenta resolução superior em imagem estática, com até 72 megapixels, além de interface intuitiva e compatibilidade direta com formatos equiretangulares exportáveis para softwares como o 3DVista. Sua portabilidade, leveza e integração com aplicativo de controle via smartphone tornam-na ideal para captações rápidas e discretas, especialmente em ambientes internos ou controlados.

É importante frisar o aspecto da robustez das câmeras 360°, uma vez que das câmeras DSLR de marcas Canon e Nikon não apresentam qualidades como resistência à umidade, além de possuir fragilidades quanto ao corpo da câmera.

As características essenciais para o uso de câmeras em locais de crime com condições adversas, como terrenos instáveis, chuva ou poeira, deve-se ter, invariavelmente, correspondência com a resistência. Dessa forma, torna-se interessante repensar o uso de substituição das câmeras por celulares com alta capacidade fotográfica, combinadas com o uso de estabilizador de imagem (*gimbal* ou similares).

A combinação dessas duas câmeras permitiu avaliar comparativamente aspectos como tempo de captação, tamanho dos arquivos gerados, qualidade da imagem e usabilidade em campo, elementos fundamentais para verificar a aplicabilidade operacional da metodologia proposta. Além disso, ambas as câmeras utilizam cartões de memória compatíveis com o padrão V30, garantindo velocidade de gravação adequada à atividade.

A escolha por equipamentos comerciais de baixo custo relativo, mas com alta performance técnica, está em consonância com a proposta de democratização de recursos periciais e aderência à lógica de inovação de baixo investimento, inspirada nos princípios da Indústria 4.0. O objetivo é permitir que órgãos de segurança pública, mesmo com orçamentos limitados, possam empregar tecnologias imersivas de forma segura, eficaz e compatível com os princípios da cadeia de custódia e da inteligibilidade dos exames periciais.

A escolha por *softwares* instaláveis como 3DVista e Pano2VR para a criação de *tours* virtuais no contexto pericial vai além de critérios estéticos ou de navegabilidade. Trata-se de uma decisão técnica e estratégica fundamentada na necessidade de assegurar a integridade da prova técnica digital, elemento central para a cadeia de custódia.

Ao contrário das plataformas *online* como *Kuula*, *Roundme*, *CloudPano* e suas equivalentes nacionais, que operam exclusivamente em ambiente de nuvem, os *softwares* instaláveis permitem ao perito controle sobre todo o fluxo de produção e exportação do *tour* virtual, desde a importação das imagens até a entrega do arquivo final. Isso resulta em uma série de vantagens operacionais e jurídicas, conforme detalhado a seguir.

#### 1. Exportação *Offline* e Aplicações Autônomas

Tanto o 3DVista quanto o Pano2VR permitem a exportação dos *tours* como aplicações autônomas, que podem ser executadas localmente em computadores sem conexão com a internet. Essa funcionalidade é essencial em ambientes periciais, onde a segurança da informação é prioritária e o risco de exposição indevida de arquivos deve ser eliminado.

#### 2. Facilidade de gravar em outras mídias

Os *tours* podem ser gravados em mídias físicas (pen drives, DVDs, SSDs externos) facilitando a sua tramitação dentro dos órgãos públicos e evitando dependência de plataformas

terceirizadas que podem sofrer instabilidades, falências ou mudanças unilaterais nos termos de uso.

### 3. Uso vitalício

Além disso, por estarem disponíveis em licenças permanentes (como no caso do 3DVista e Pano2VR), essas soluções se adequam melhor à realidade orçamentária de instituições públicas, que muitas vezes enfrentam dificuldades em contratar serviços de assinatura recorrente.

As câmeras 360°, quando utilizadas também geram problemas que ocorrem com a montagem manual, como as emendas. Nem sempre o algoritmo consegue costurar com precisão as imagens, gerando emendas (*Seams*), fruto do desalinhamento de fusão das fotos das duas grandes angulares. O mesmo processo do algoritmo de junção das imagens faz com que o bastão telescópico desapareça das imagens, devido às dimensões que este possui, entretanto, o tripé torna-se aparente. Um processo simples em *softwares* de edição é o suficiente para desaparecer com os elementos por completo, embora não exista a real necessidade.

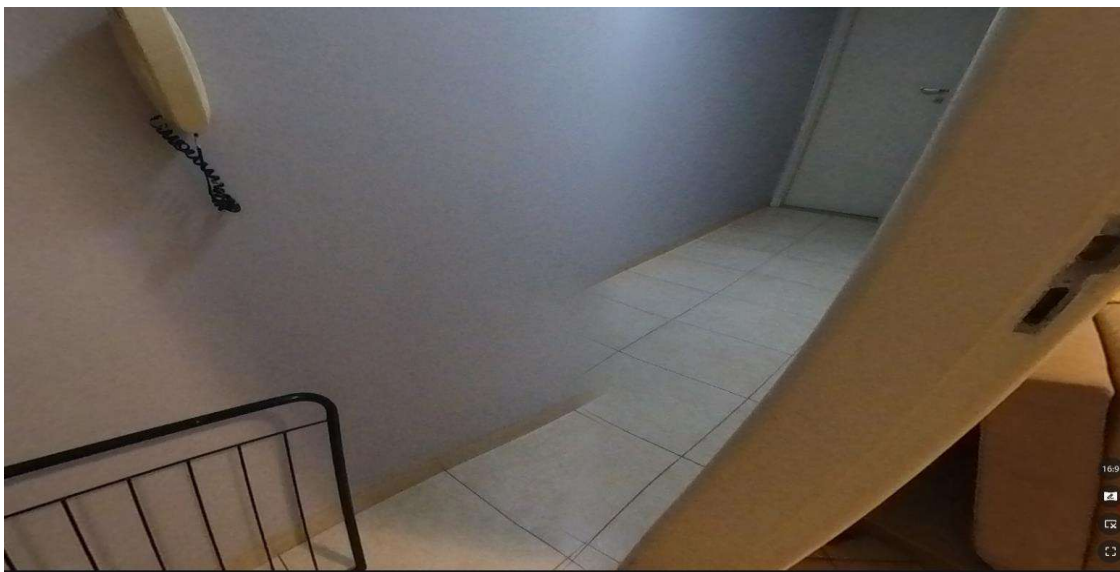


Figura 50 – Emendas (*Seams* na fotografia 360°).

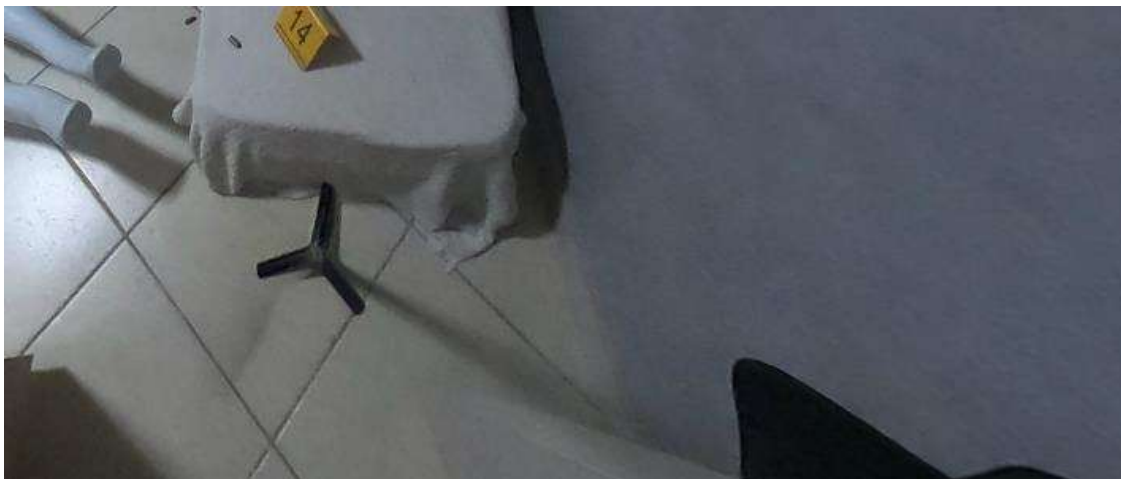


Figura 51 – Tripé aparente e desaparecimento do bastão telescópico.

As máquinas 360° possuem menor capacidade de captar detalhes, quando comparadas com as DSLR comumente utilizadas. Dessa forma, registros com baixa iluminação possuem menor possibilidades de ajustes e algumas imagens podem ficar com texturas grosseiras. Contudo, o uso de iluminação artificial pode mitigar essas distorções.

### 5.3 CRIPTOGRAFIA DOS PRODUTOS

A possibilidade de uma vez exportado, o *tour* como um executável ou pasta HTML, aplicar funções de *hash* de criptografia, garantindo-se a integridade digital dos dados (ex: SHA-256).

O *hash* funciona como uma impressão digital única do arquivo exportado, e pode ser registrado no laudo pericial como uma ferramenta probatória que o material final não sofreu alterações, podendo fazer se consignar no laudo pericial.

Essa prática assegura autenticidade e integridade, dois dos pilares da cadeia de custódia digital e fortalece a admissibilidade do *tour* virtual para figurar como prova tecnicamente válida em tribunais.

A depender de plataformas *online* para a visualização de material probatório acarreta riscos jurídicos e operacionais. Por exemplo, não há como garantir que um arquivo hospedado em um serviço como o *Kuula* ou *Roundme* permaneça inalterado com o tempo ou que a plataforma continuará existindo após o encerramento do contrato de serviço. Outros serviços como o *mazipano* possibilitam a exportação HTML dos arquivos e criptografia, entretanto, não há possibilidade de se visualizar de outro modo que não por hospedagem. Adicionalmente, possuem funções muito básicas.

Já com *softwares* como o 3DVista e o Pano2VR, o órgão público detém a custódia sobre os arquivos gerados, podendo armazená-los em servidores próprios, realizar cópias de segurança e definir protocolos internos de acesso e rastreamento, preservando a integridade da informação ao longo do tempo.

#### **5.4 IMPACTO NA PRODUÇÃO DOS LAUDOS E NO TRABALHO DOS PERITOS CRIMINAIS**

O uso de ferramentas instaláveis permite a criação de um fluxo padronizado, passível de ser formalizado em Procedimento Operacional Padrão (POP), com rotinas replicáveis em diferentes unidades periciais. Essa padronização favorece treinamentos, auditorias e a consolidação de jurisprudência técnica.

Realizar a medição de tempo gasto foi essencial para demonstrar, com exatidão, que as ferramentas não representarão tempo demasiado de trabalhos adicionais. Pelos tempos abstraídos das capturas, o método se mostra pertinente e pode gerar economia de tempo na confecção do laudo tradicional, uma vez que alguns elementos podem ser substituídos ou eliminados, dentre eles se pode eliminar:

- 1) As fotografias ou Anexos Fotográficos e legendas;
- 2) Histórico e outras informações de fácil percepção, como endereço, georreferenciamento;
- 3) Descrição excessiva de lesões, ambientes, posicionamentos;

Dentre as vantagens eminentemente percebidas, além do modo de produção, os peritos criminais poderão ter:

- 1) Possibilidade de revisitação do local;
- 2) Redução do próprio tempo de captação: a depender do refino da técnica, pode-se ter menos registros fotográficos, uma vez que as fotografias esféricas captam o ambiente ao redor;
- 3) Maior foco na análise e menos na produção;
- 4) Menor carga cognitiva dos laudos: menor esforço para gerar explicações do evento criminoso pela descrição e registros bidimensionais;
- 5) Integração entre vestígios, croquis, vídeos, o próprio laudo do local e outros relevantes, como o laudo cadavérico, papiloscópico, DNA, dentre outros existentes daquela ocorrência e que estejam prontos à época;

- 6) Fortalecimento da cadeia de custódia;
- 7) Utilizar o próprio registro 360° como imagens bidimensionais: como o local é desfeito depois das análises periciais, o registro 360° permite a utilização de qualquer ponto de interesse, como imagem bidimensional, evitando que algum detalhe não tenha registro (Figura 51)



Figura 52 – Utilização de imagens feitas com “prints” de câmeras 360° como imagem bidimensional

Na praxe pericial, é comum a existência de laudos extremamente longos e complexos. Quando refletimos sobre a dinâmica dos tribunais, um processo criminal pode conter diversos volumes e milhares de páginas e podem ser redistribuídos a juízes e promotores com prazos justos até a audiência. Tornar o produto final das análises periciais, o laudo, mais dinâmico pode ser uma forma do perito ser melhor entendido, além de gerar maior percepção de valor do Órgão Pericial.

Pode-se pensar em um laudo totalmente virtual, seguindo as estruturas que são padronizadas nacionalmente. Dessa forma, as abas informacionais seguiriam a ordem de tópicos nacionalmente padronizada, conforme exposto abaixo:

Laudo Virtual	Link
Laudo virtual	<a href="https://laudovirtual40.netlify.app/">https://laudovirtual40.netlify.app/</a>

Tabela 10: link do laudo virtual

Dessa forma, sem apego às definições técnicas de realidade virtual ou interativa para dar nome a esse produto, o Laudo Virtual seria uma evolução natural da atividade pericial, possibilitando a cadeia de custódia dos metadados produzidos e com certificação. Dentre as vantagens já ditas, estão: a redução textual, incorporação de outros elementos como áudio, vídeo e PDFs para descrição de tópicos informativos como o histórico da ocorrência; aumento da inteligibilidade dos laudos pela imersão parcial, tanto para operadores do direito quanto para jurados; facilidade de revisitação ao perito criminal; integração multimodal – diversos arquivos incorporados.

Aspectos importantes devem ser considerados, frente a uma mudança abrupta no modo de produção, dentre eles: a aceitação jurídica, reconhecida como prova válida; limitações de infraestrutura dos sistemas policiais e do judiciário ao tamanho dos arquivos e modo de armazenagem; treinamento especializado e criação de uma seção para produção desses produtos, como forma de garantir a integração de todos os perfis de servidores que queiram se utilizar da ferramenta; padronização do *layout* de produção e dos elementos, tal qual ocorre com os laudos periciais convencionais.

É importante também a discussão de quando se utilizar dessa forma de apresentação – apenas em eventos complexos ou a adoção como praxe pericial. Tendo em vista as limitações de armazenamento e resistências internas, pode ser realizada a captura 360° do local, para a *posteriori* e sob demanda, sejam solicitadas *tours* virtuais ou o laudo virtual de local.

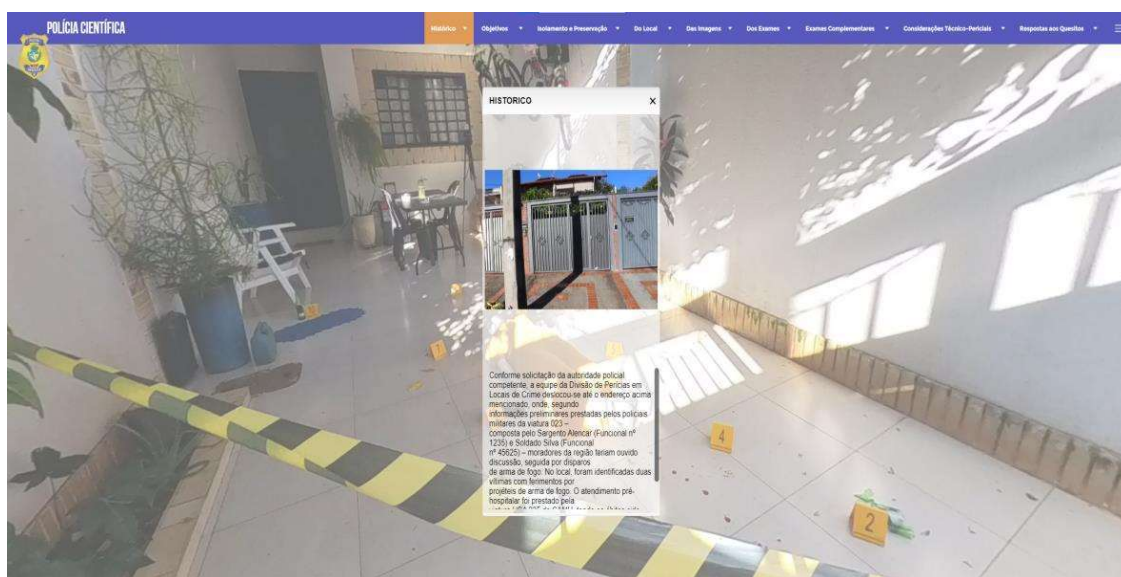


Figura 53: Laudo Virtual de Local – Imagens realizadas pela Insta360 X3

## 5.5 IMPACTO NA CADEIA PRODUTIVA PERICIAL PELA ÓTICA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Os registros 360° podem representar uma metodologia disruptiva, em conjunto com a produção dos *tours* virtuais, igualmente do modo como os profissionais periciais produzem e comunicam seu conhecimento. Em Engenharia de produção, trata-se de uma lógica ou inovação incremental, que podem alterar os fluxos e padrões de operações de trabalho (Slack *et al.*, 2015).

Ao se pensar em cadeia produtiva do laudo, existem etapas, além do conhecimento das ciências envolvidas nas análises – seleção de materiais que serão utilizados em uma perícia, deslocamento ao local, observação direta, coleta de informações com agentes de segurança, preocupação com isolamento e preservação dos vestígios, registro fotográfico, análise e coleta dos vestígios, anotações, produção do laudo. Estes fatos ficam dependentes da memorização do perito e clareza das imagens. As tarefas descritas apresentam forte carga cognitiva, além da organização do trabalho pelo perito criminal, associado à clareza das imagens captadas pelo modelo tradicional. A adoção de registros esféricos ou 360° com capacidade de semi-imersão, abre a possibilidade de reorganizar essa cadeia ao permitir a substituição de várias imagens bidimensionais por registros contínuos, gerando ganhos de natureza operacional e de cognição. O fluxo mais enxuto e com maior padronização aproxima-se do *layout* celular, onde os processos são agrupados e concatenados para melhoria de desempenho global (Womack e Jones, 2003).

A conceitualização de um Procedimento Operacional Padrão remete ao conceito de engenharia de métodos, uniformizando práticas, melhor distribuição da carga cognitiva envolvida, bem como redução de variações sem previsibilidade mínima (Maynard *et al.*, 2003).

A adoção dessa técnica representa um intervalo de tempo relativamente pequeno para internalização nos procedimentos, com curva de aprendizagem inicial, entretanto os ganhos em escala são interessantes, uma vez que quanto maior apropriação do método melhor o fluxo de trabalho. O Perito seria um redator além de um integrador de dados em uma interface de navegação, tal qual ocorre com modelos de CAD ou CAM industriais (Kumar e Ram, 2021).

A adoção desses modelos não apenas muda a estética probatória, mas também a cadeia e a lógica produtiva, exigindo modelos de treinamento.

Como se é esperado, novos modelos de trabalho irão encontrar resistências institucionais e questionamentos. A produção textual do perito em laudos é considerada uma

marca de assinatura de sua estética linguística associada aos conhecimentos científicos e metodológicos forense – sendo uma peça autoral.

Destaca-se, sobre esse ponto, que a proposta presente não se pretende criar homogeneização de produção, e sim, disponibilizar ferramentas que possibilitem uma nova análise, não se configurando como imposição. É possível que a utilização dessas ferramentas opere sobre a lógica de um sistema puxado (*pull system*), em que a produção é iniciada a partir da demanda dos destinatários finais (consumidores). Nesse cenário, a utilização seria inicialmente facultativa da tecnologia, passando-se a ser progressivamente uma expectativa tácita (Silveira *et al*, 2001).

Dessa forma, os modelos disponíveis não devem ser vistos como modelos de substituição da pericial tradicional, mas como elementos de valor técnico que fortalecem a perícia oficial, aumentando a percepção de valor da prova e do órgão. Para que estes métodos englobem todos os servidores, é possível que se crie um departamento especializado na pós-produção, ficando a cargo do perito a captação.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Este trabalho apresenta uma solução de baixo custo e fácil adoção institucional por órgãos de segurança pública. O presente trabalho propôs uma solução de baixo custo para confecção de *tours* virtuais baseado na montagem de imagens esféricas com câmeras comerciais 360°, inspirado no conceito de indústria 4.0 e em outros trabalhos correlatos de diversas áreas, inclusive forense.

Na segunda parte, foram apresentadas a revisão de literatura. Na terceira parte, foram expostas a metodologia de pesquisa, além de estimativa de custos, os materiais selecionados, escolhas de método de registro, além da criação de um ambiente simulado de local de crime.

Na quarta, foram apresentados os resultados de pesquisa para a implementação do que se propõe como mais tangível para confecção de *tours* virtuais e as consequências práticas, demonstrando a possibilidade de se ter um laudo totalmente virtual a partir dos dados coletados. Na quinta parte, discutiu-se os resultados da pesquisa, dando panoramas sobre possíveis benefícios, tanto para os peritos criminais, quanto para os destinatários finais.

As técnicas apresentadas para implementação de novas tecnologias ao trabalho dos peritos criminais ainda precisam de discussões internas e padronização, embora diversos profissionais reconheçam a necessidade de inovar em âmbito institucional.

O presente trabalho fortalece um importante vertente aplicada da criminalística digital no Brasil, possuindo valor inédito e reforçando o papel da inovação tecnológica como vetor de maior inteligibilidade, confiabilidade e economia na produção de provas técnicas. A continuidade dessa agenda requer reforços interinstitucionais para normatização, capacitação e avaliação empírica dos impactos judiciais do uso de recursos imersivos.

O uso da tecnologia de *tours* virtuais apresenta limitações e desafios. Em primeiro lugar, a validação formal carece de estudos complementares para obter-se a comparação entre a eficácia comunicacional dos laudos quando comparados aos modelos virtualizados e interativos, tendo-se em consideração aspectos importantes como alterações de emoções, impacto na tomada de decisões ou a retenção de informações nos destinatários finais.

Sobre o prisma emocional, tem-se a discussão sobre aspectos éticos e jurídicos de suma importância. Recursos visuais com poder de imersão podem gerar impactos psicológicos sobre jurados, por exemplo. Há que se discutir também sobre possíveis limites de reconstrução de cenários.

A partir das discussões, alguns trabalhos podem focar nos estudos de fotogrametria de baixo custo aplicada à locais de crime, podendo-se, inclusive, utilizar-se das câmeras 360° para tanto. Além da fotogrametria, estudos de melhoramento das imagens e o desenvolvimento de *scanners* 3D acessíveis constituem uma linha promissora.

Recomenda-se aprofundar a integração das câmeras 360° com técnicas de fotogrametria e escaneamento 3D. A fotogrametria, por meio da extração de pontos de controle a partir de múltiplas imagens sobrepostas, pode complementar os *tours* com medições precisas e geração de modelos tridimensionais do local, com aplicações importantes na reconstrução da dinâmica dos eventos. Já o escaneamento a laser (LiDAR ou Structured Light), quando combinado com a fotografia esférica, permite criar uma representação geométrica e visual fiel do ambiente periciado, promovendo reconstituições científicas com alto nível de confiabilidade.

Estudos como os de Gardner et al. (2022) e Home et al. (2024) indicam que a apresentação de ambientes tridimensionais melhora a compreensão de jurados e operadores do direito, contribuindo para julgamentos mais precisos. Nesse sentido, a fusão entre registros visuais panorâmicos e nuvens de pontos tridimensionais surge como uma abordagem promissora.

## REFERÊNCIAS

AB AZIZ, S. A.; AZIZ, B.; MAJID, Z.; SETAN, H. Application of close range photogrammetry in crime scene investigation (C.S.I.) mapping using witness and crime zone software. *Geoinform Science Journal*, 2010.

ABATE, D.; TOSCHI, I.; STURDY-COLLS, C.; REMONDINO, F. A low-cost panoramic camera for the 3D documentation of contaminated crime scenes. In: INTERNATIONAL WORKSHOP LOWCOST 3D – SENSORS, ALGORITHMS, APPLICATIONS, 5., 2017, Hamburg. International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-2/W8, 2017.

AADAMCZYK, M.; HOŁOWKO, E.; LECH, K.; MICHONSKI, J.; MAĆZKOWSKI, G.; JANUSZKIEWICZ, K.; SITNIK, R. Three Dimensional Measurement System for Crime Scene Documentation. *Journal of Forensic Sciences*, 2023.

BAG, S.; PAUL, C. P.; BARUAH, M. (Ed.). Next generation materials and processing technologies: select proceedings of RDMPMC 2020. Singapore: *Springer Nature Singapore Pte Ltd.*, 2021. (Springer Proceedings in Materials, v. 9).

BAG, P.; MAYURI, S. Advancements in 360° imaging for crime scene documentation. *International Journal of Forensic Sciences*, v. 12, n. 3, p. 45–52, 2020.

BERTEL, T.; YUAN, Z.; LINDROOS, O.; RICHARDT, C. OmniPhotos: casual 360° VR photography with motion parallax. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 26, n. 5, p. 1866–1875, 2020.

BERTEL, T.; CAMPBELL, N. D. F.; RICHARDT, C. MegaParallax: casual 360° panoramas with motion parallax. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 25, n. 5, p. 1828–1833, 2019.

BERTEL, T.; MÜHLHAUSEN, M.; KAPPEL, M.; BITTNER, P. M.; RICHARDT, C.; MAGNOR, M. Depth augmented omnidirectional stereo for 6-DoF VR photography. In: 2020 *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. p. 660–661, 2020.

BOUKERCH, I.; TAKARLI, B.; SAIDI, K.; KARICH, M.; MEGUENNI, M. Development of panoramic virtual tours system based on low-cost devices. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLIII-B2, 2021.

BOVENZI, G.; ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Blockchain performance in Industry 4.0: drivers, use cases, and future directions. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 36, 100513, 2023.

BOZGEYIKLI, E.; RAIJ, A.; KATKOORI, S.; DUBEY, R. Point & teleport locomotion technique for virtual reality. In: CHI PLAY '16: *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. Austin, TX: ACM, 2016. p. 205–216.

BRASIL. Secretaria Nacional de Segurança Pública. *Procedimento operacional padrão: perícia criminal*. Brasília: Ministério da Justiça, 2013. 242 p.

BUCK, U.; NAETHER, S.; RÄSS, B.; JACKOWSKI, C.; THALI, M. J. Accident or homicide – virtual crime scene reconstruction using 3D methods. *Forensic Science International*, v. 225, n. 1–3, p. 75–84, 2013.

CARLOTTO, P. A. Pesquisa-ação na engenharia de produção: um método para a resolução de problemas práticos e a geração de conhecimento aplicado. In: *Gestão de Produção: teoria e prática*. São Paulo: Editora XYZ, 2008.

CLARKE, K.; GRANT, H.; HALL, J. The adaptation of a 360° camera utilising an alternate light source (ALS): an exploratory method for the detection of biological fluids at crime scenes. *Science & Justice*, v. 63, n. 1, p. 79–85, 2023.

COVER, A. Desenvolvimento de um ambiente de realidade virtual para estudo da perícia forense. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

DAI, F.; FENG, Y.; HOUGH, R. Photogrammetric error sources and impacts on modeling and surveying in construction engineering applications. *Visualization in Engineering*, v. 2, n. 2, 2014.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, v. 204, p. 383–394, 2018.

DANG, T. K.; WORRING, M.; BUI, T. D. A semi-interactive panorama based 3D reconstruction framework for indoor scenes. *Computer Vision and Image Understanding*, v. 115, n. 11, p. 1516–1524, 2011.

DELIRY, S. I.; AVDAN, U. Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: a review. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 49, p. 1997–2017, 2021.

DI MAIO, V. J. M.; DI MAIO, D. *Forensic pathology*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

DILBEROGLU, U. M.; GHAREHPAPAGH, B.; YAMAN, U.; DOLEN, M. The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1174–1181, 2017. DOI:.

EBRAHIM, M. A. 3D laser scanners' techniques overview. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, v. 4, n. 10, p. 323–331, out. 2015.

FENG, J.; XU, X.; ZHANG, K.; ZHOU, K. A survey on image and video stitching. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, v. 58, p. 142–153, 2019.

FISHER, B. A. J. Introduction to criminalistics: *the foundation of forensic science*. 1. ed. Burlington: Academic Press, 2015.

GARDNER, R. M. *Practical crime scene processing and investigation*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.

GIGLIO-JACQUEMIN, C. et al. Virtual reality in forensic science: a review. *Forensic Science International*, v. 310, p. 110261, 2020.

GOLD, S.; SHADOW AND LIGHT PRODUCTIONS. Forensic animation: its origins, creation, limitations and future. 2002.

HALEEM, A.; JAVAID, M.; SINGH, R. P.; RAB, S.; SUMAN, R.; KUMAR, L.; KHAN, I. H. Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: an overview. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, v. 3, p. 161–171, 2022.

HEDMAN, J. et al. Forensic science in the digital age: challenges and opportunities. *Science & Justice*, v. 59, n. 1, p. 1–7, 2019.

HOME, J.; DOE, J.; SMITH, A.; JOHNSON, R. Using 3D scanning to present bloodstain pattern analysis evidence to juries. *Journal of Forensic Sciences*, 2024.

HOUCK, M. M.; SIEGEL, J. A. (Eds.). *Fundamentals of forensic science*. 2. ed. London: Academic Press, 2010. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/fundamentals-of-forensic-science/houck/978-0-12-374989-7>.

KADER, S. N.; NG, W. B.; TAN, S. W. L.; FUNG, F. M. Building an interactive immersive virtual reality crime scene for future chemists to learn forensic science chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 97, n. 9, p. 2651–2656, 2020.

KOULIERIS, G. A.; AKŞIT, K.; STENGEL, M.; MANTIUK, R. K.; MANIA, K.; RICHARDT, C. Near-eye display and tracking technologies for virtual and augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 2019.

KUMAR, S. D.; DEWANGAN, S.; JHA, S. K.; PARIDA, S. K.; BEHERA, A. 3D and 4D printing in Industry 4.0: trends, challenges, and opportunities. In: BAG, S.; PAUL, C. P.; BARUAH, M. (Ed.). *Next generation materials and processing technologies: select proceedings of RDMPMC 2020*. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2021. p. 579–589. (Springer Proceedings in Materials, v. 9).

KUMAR, Amit; RAM, Mangey. *The handbook of reliability, maintenance, and system safety through mathematical modeling*. London: Academic Press, 2021.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 2003.

LEE, H. C.; HARRIS, D. H. *Handbook of digital forensics and investigation*. London: Academic Press, 2019. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/handbook-of-digital-and-multimedia-forensics/lee/978-0-12-801682-6>.

LEE, J.; KIM, B.; KIM, K.; KIM, Y.; NOH, J. Rich360: optimized spherical representation from structured panoramic camera arrays. *ACM Transactions on Graphics*, v. 35, n. 4, Article 63, 2016.

LI, M.; QUIGLEY, J. P.; YOO, K. D.; FURNESS, T. A. Application of AR/VR technology in Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 59, p. 103–115, 2021.

JANDYAL, A.; CHATURVEDI, I.; WAZIR, I.; RAINA, A.; UL HAQ, M. I. 3D printing – a review of processes, materials and applications in industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers*, v. 3, p. 33–42, 2022. DOI: 10.1016/j.susoc.2021.09.004.

JAVAID, M.; HALEEM, A.; PRATAP SINGH, R.; SUMAN, R. Industrial perspectives of 3D scanning: features, roles and its analytical applications. *Sensors International*, v. 2, p. 100114, 2021.

JAVAID, M. et al. Applications of virtual reality in forensic investigations. *Materials Today: Proceedings*, v. 26, p. 2287–2290, 2020.

JOHNSON, A.; JANI, G.; PANDEY, A. Application of 3D scanning and 3D printing in forensic practices: a preliminary survey among forensic practitioners in India. *Forensic Imaging*, v. 28, p. 200498, 2022.

MAIELLARO, N.; VARASANO, A.; SALVATORE, C. Digital data, virtual tours, and 3D models integration using an open-source platform. In: DUGULEANĂ, M. et al. (Eds.). *VRTCH 2018*. Cham: Springer, 2019. p. 148–164.

MANELI, M. A.; ISAFIADE, O. E. 3D forensic crime scene reconstruction involving immersive technology: a systematic literature review. *IEEE Access*, v. 10, p. 88821–88849, 2022.

MANELI, M.; ISAFIADE, O. 360-degree imaging in crime scene reconstruction. *Journal of Forensic Sciences*, v. 65, n. 4, p. 1123–1130, 2020.

MANEA, F.; GHICIOI, E.; TUHUȚ, L. I.; ȘUVAR, M. C. Imaging documentation in the on-site investigation of explosion/fire events. *MATEC Web of Conferences*, v. 373, 00059, 2022.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Técnicas de pesquisa*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, J. V.; LIMA, R. F.; ARAÚJO, L. M. Uso de realidade virtual na reconstituição de cenas de crime. *Revista Brasileira de Criminalística*, v. 9, n. 2, p. 45–60, 2019.

MATZEN, K.; COHEN, M. F.; EVANS, B.; KOPF, J.; SZELISKI, R. Low-cost 360 stereo photography and video capture. *ACM Transactions on Graphics*, v. 36, n. 4, Article 148, 2017.

MAYNARD, H. B.; STEGEMERTEN, G. J.; SCHWAB, J. L. *Métodos de medição do trabalho*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

MOUHA, N. Exploring formal methods for cryptographic hash function implementations. 2023.

NASCIMENTO, F. P.; CIRNE, R. A. Experimentação 360°: a realidade virtual como meio de imersão e análise de espaços coletivos. In: *UIA 2021 Rio – 27th World Congress of Architects*. Instituto de Arquitetos do Brasil, 2021. p. 457–460.

NICKELL, J. *Camera clues: a handbook for photographic investigation*. Lexington: University Press of Kentucky, 2015.

NORMAN, D. G.; WADE, K. A.; WILLIAMS, M. A.; WATSON, D. G. Caught virtually lying—crime scenes in virtual reality help to expose suspects' concealed recognition. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, v. 9, n. 1, p. 118–127, 2020.

OSTERBURG, J. W.; WARD, R. H. *Criminal investigation: a method for reconstructing the past*. 7. ed. LexisNexis, 2010.

OZTURK, H. I.; RASHIDZADE, I. A photogrammetry based method for determination of 3D morphological indices of coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, v. 262, 120794, 2020.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP, 2007.

PHOTOWORKOUT. Best 360 cameras for virtual tours in 2024. 2024.

POSADA, J.; TORO, C.; BARANDIARAN, I.; OYARZUN, D.; STRICKER, D.; DE AMICIS, R.; PINTO, E. B.; EISERT, P.; DÖLLNER, J.; VALLARINO JR., I. Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 35, n. 2, p. 26–40, 2015.

PARAVIZO, E.; MENEGON, N. L. Uso de hardware tipo Kinect para modelagem tridimensional aplicada ao projeto de situações produtivas. In: *XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2015.

PICCAROZZI, M.; AQUILANI, B.; GATTI, C. Industry 4.0 in management studies: a systematic literature review. *Sustainability*, v. 10, n. 10, p. 3821, 2018.

REICHERZER, C.; CUNNINGHAM, A.; COLEMAN, T.; CAO, R.; MCMANUS, K.; SHEPPARD, D.; KOHLER, M.; BILLINGHURST, M.; THOMAS, B. H. Bringing the jury to the scene of the crime: memory and decision-making in a simulated crime scene. In: *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)*, 2021, Yokohama, Japan. Association for Computing Machinery.

REICHERZER, T.; CHEN, J.; SMITH, B. Integrating virtual reality into forensic science education. *Journal of Forensic Sciences*, v. 66, n. 3, p. 1012–1020, 2021.

RIBEIRO, G. F. et al. Análise da criação e implantação de documentação POP em uma empresa do setor aeronáutico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Joinville. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2017. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_239\\_386\\_34716.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_239_386_34716.pdf).

RIDER, R. R. The impact of new technology on crash reconstruction. 2017. Tese (Mestrado em Justiça Criminal) – Tarleton State University, Fort Worth, 2017.

RODRIGUES, C. V.; SILVA, M. T. da; TRUZZI, O. M. S. Perícia criminal: uma abordagem de serviços. *Gestão & Produção*, v. 17, n. 4, p. 843–857, 2010.

RODRIGUES, C. V.; TOLEDO, J. C. de. Um método para medição de desempenho do serviço público de perícia criminal com base no valor. *Gestão & Produção*, v. 24, n. 3, p. 538–556, 2017.

SAFERSTEIN, R. *Criminalistics: An Introduction to Forensic Science*. 12. ed. Boston: Pearson, 2018.

SILVA, D. A.; OLIVEIRA, J. M. Implementação de procedimentos operacionais padrão em uma empresa de serviços. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 184–196, 2020. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/376/510>.

SILVEIRA, Giovanni J. C.; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flávio S. Mass customization: literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 1–13, 2001.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; BURGESS, Nicola. *Operations management*. Harlow: Pearson Education Limited, 2015.

SPIELMANN, N.; MANTONAKIS, A. In virtuo: how user-driven interactivity in virtual tours leads to attitude change. *Journal of Business Research*, v. 88, p. 255–264, 2018.

SHARMA, R.; VILLÁNYI, B. Consistent round hash optimized SRP-6a-based end-to-end mutual authentication for secure data transfer in Industry 4.0. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, v. 2, p. 170–179, 2022.

SIEBERTH, T.; DOBAY, A.; AFFOLTER, R.; EBERT, L. C. Applying virtual reality in forensics: a virtual scene walkthrough. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, v. 15, n. 1, p. 41–47, 2019.

TECHRADAR. Best 360 cameras 2024: capture everything around you. 2024.

TEO, T.; LEE, G. A.; BILLINGHURST, M.; ADCOCK, M. 360Drops: mixed reality remote collaboration using 360 panoramas within the 3D scene. In: *SIGGRAPH Asia 2019*, Brisbane, QLD, Australia. Proceedings... New York: ACM, 2019.

TOM'S GUIDE. Best 360 cameras in 2024. 2024.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

TREDINNICK, R.; SMITH, S.; PONTO, K. A cost-benefit analysis of 3D scanning technology for crime scene investigation. *Forensic Science International: Reports*, v. 1, 2019. Art. no. 100025.

TUNG, T.; CHAN, K.; LAU, M. Advancements in 360-degree imaging for crime scene analysis. *Journal of Forensic Research*, v. 11, n. 2, p. 1–8, 2020.

VELHO, J. A.; COSTA, K. A.; DAMASCENO, C. T. M. *Locais de crime: dos vestígios à dinâmica criminosa*. Campinas: Millennium Editora, 2013.

VELHO, L.; COSTA, B.; DAMASCENO, N. *Computação gráfica: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

VILLA, C.; LYNNERUP, N.; JACOBSEN, C. A virtual, 3D multimodal approach to victim and crime scene reconstruction. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, v. 13, n. 17, p. 2764, 2023.

VYAS, S.; GUPTA, S. Blockchain and Industry 4.0 – a study. *Materials Today: Proceedings*, v. 64, p. 1197–1201, 2022.

WANG, J. et al. Virtual reality and integrated crime scene scanning for immersive and heterogeneous crime scene reconstruction. *Forensic Science International*, v. 303, 2019. Art. no. 109943.

WOESTE, H. *Mastering digital panoramic photography*. Santa Barbara, CA: Rocky Nook, 2008.

WOESTE, M. 360-degree photography in forensic investigations. *Forensic Imaging*, v. 1, p. 100005, 2019.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*. Rio de Janeiro: Campus, 2003.



YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZHANG, C.; CHEN, Y.; CHEN, H.; CHONG, D. Industry 4.0 and its implementation: a review. *Information Systems Frontiers: A Journal of Research and Innovation*, 2021.

ZHANG, R.; WANG, C.; ZHANG, S.; LI, Z. Literature survey on multi-camera system and its application. *IEEE Access*, v. 8, p. 220140–220155, 2020.

ZHANG, Y.; LIU, M.; CHEN, H. Virtual reality applications in forensic science: a review. *Forensic Science International: Reports*, v. 4, 100145, 2021.

## APÊNDICE I – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO

	Estado de Goiás Secretaria de Estado da Segurança Pública Superintendência de Polícia Técnico-Científica			
	Versão n.º	Data	Código	
	01	08/04/2024	POP-CRPTC-005	
ÁREA / UNIDADE EMITENTE: SPTC				
<b>Conteúdo:</b>	Captação de fotografias 360º em locais de crimes com câmera 360º			

ELABORADO POR	REVISADO POR	APROVADO POR
Murilo Toscano de Carvalho	Emiliano Luiz Neto	Murilo Toscano de Carvalho
08/04/2024		

### 1. OBJETIVO

Padronizar o procedimento referente à captação de imagens 360º, realizado por Perito(a) criminal de atividade externa, para os crimes que envolvam mortes violentas ou de trânsito, da Superintendência de Polícia Técnico-Científica do Estado de Goiás, com o intuito de produzir *tours* virtuais em locais de crimes.

### 2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Peritos Criminais ou servidores treinados para esse fim lotados SPTC, para registros de locais de crime de competência do tribunal do Júri (homicídio; Infanticídio; Suicídio (participação ou instigação ao suicídio); aborto e crimes conexos) e acidentes de trânsito.

### 3. DEFINIÇÕES, SIGLAS E ABREVIATURAS

#### 3.1. Siglas:

- EPI: Equipamento de Proteção Individual;
- DPLC: Divisão de Perícias em Locais de Crime;
- SPTC-GO: Superintendência de Polícia Técnico-Científica de Goiás;
- DSLR (Digital Single Lens Reflex);
- POP – Procedimento Operacional Padrão;

#### 4. RECURSOS NECESSÁRIOS

- Câmera Fotográfica
- Câmera fotográfica 360°
- EPIs;
- Material de escritório: prancheta, caneta
- *Tablet Samsung S6 little* ou celular (*android* ou IOS)
- bastão telescópico
- tripé estabilizador
- Viatura;
- Filme PVC;
- Google Drive;
- MicroSD, microSHC ou microSDXC, classificação V30 , capacidade de até 256 GB;

#### 5. DESCRIÇÃO

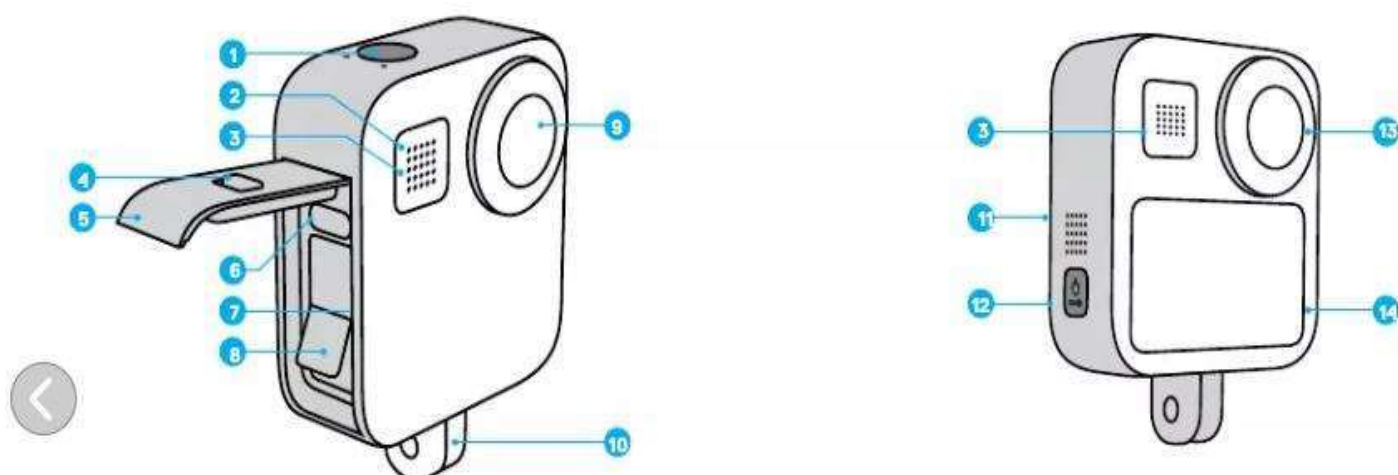
##### 5.1. Organização para realização das captações 360°

- 5.1.1 5.1.1 O servidor da DPLC deve, ao dar entrada no plantão da Regional, conferir o estado e conservação das câmeras disponíveis no plantão, bem como conferir os níveis de carga das baterias.
- 5.1.2 De igual modo, os espaços disponíveis nos cartões de memória devem ser verificados.
- 5.1.3 Em se tratando de avarias ou verificação de mal funcionamento tanto das câmeras DSLR ou das câmeras 360°, estas devem ser notificadas à Coordenação.
- 5.1.4 Quando notificados de uma ocorrência, o Perito Criminal deve analisar qual a natureza do exame a ser realizado.
- 5.1.5 Constatada a solicitação pela Autoridade policial de eventos criminalísticos envolvendo-se vítimas fatais, o Perito deve, na maior brevidade possível, certificar-se dos equipamentos necessários, os quais estarão disponíveis nas viaturas:
- a) EPI's: Touca, óculos de proteção, máscara, luvas e jalecos.
  - b) Câmeras fotográficas – DSLR e 360°.
  - c) Tripés de câmeras;

- d) Para acesso a todos os itens sugeridos para locais de crime  
**OBSERVAÇÃO:** certificar que os EPIs estejam em números suficientes.
- e) Álcool 70% e saco de lixo infectante (branco) para recolhimento de materiais utilizados, disponíveis nos rabecões.
- f) Material de escritório: prancheta, caneta, grampeador, canetão e clips.
- 5.1.6 É necessário que o Perito verifique se o cartão de memória se encontra na câmera, antes dos deslocamentos, bem como carregadores portáteis.
- 5.1.7 É de suma importância observar as condições climáticas e horário de estimativa do início de realização da perícia, haja vista que o entre deslocamento e chegada pode-se existir a transição para o período noturno ou vice e versa, quando possível.
- 5.1.8 Em perícias que ocorram no horário noturno, em ambientes externos, a técnica possui limitações, quando utilizada as configurações automáticas da câmera, ficando a visibilidade prejudicada. Sugere-se o uso de iluminação externa, de preferência com uso de equipamentos específicos de iluminação artificial (fonte de luz de LED ou equipamentos similares).
- 5.1.9 Em captações diurnas ou noturnas, com ambientes internos e bem iluminados, a configuração automática da câmera é suficiente para registros com nitidez e profundidade.
- 5.1.10 Para utilizar a câmera, sendo de vontade do Perito a utilização de seu celular pessoal, é necessário baixar o aplicativo GoPro Quik, disponível na apple store (IOS) ou play store (android). Em se tratando da câmera Insta360, baixar o InstaStudio.
- 5.1.11 Ao chegar no local, verificar o perfil do solo. Locais com desníveis devem ser estudados para utilização dos tripés, conferindo estabilidade à câmera.
- 5.1.12 Sugere-se que primeiramente sejam registradas as fotografias com a câmera 360°, para após realizar os registros das fotográficas com as câmeras DSLR, como costumeiramente realizado pelos peritos.
- 5.1.13 É importante que não haja a movimentação significativa do(s) corpo(s) de vítimas, a fim de registrar o local e como o corpo fora encontrado, até que seja realizada a captação 360°.

## 5.2. Anatomia da câmera 360°

- 5.2.1 Abaixo encontra-se as principais funções da câmera GoPro Max 360, variando-se sensivelmente de acordo com o modelo de câmera:



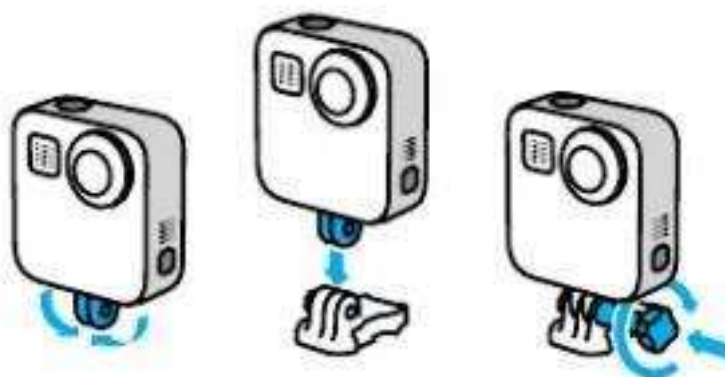
- |                    |                           |  |                                       |
|--------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| 1. Botão Obturador | 5. Porta                  | 9. Lente da câmera<br>(Lado oposto à tela) | 13. Lente da câmera<br>(Lado da tela) |
| 2. Luz de status   | 6. Porta USB-C            | 10. Hastes dobráveis                       | 14. Tela de toque                     |
| 3. Microfone       | 7. Slot do cartão microSD | 11. Alto-falante                           |                                       |
| 4. Trava da porta  | 8. Bateria                | 12. Botão Modo                             |                                       |

Pressione o botão Modo para ligar a MAX.

Pressione e segure o botão Modo por três segundos para desligar



Para prender a câmera aos portes, siga os passos abaixo:



5.2.2 Após ligada, baixe o aplicativo GoPro Quik. Abra o aplicativo. Caso prefira, direcione a câmera do celular para o qrcode:



- 5.2.3 Para conectar-se, sendo necessária uma conta *google*, *apple* ou do *facebook*.
- 5.2.4 Ative a sincronização da câmera, de acordo com o vídeo a seguir.
- 5.2.5 Realize o pareamento entre celular ou tablet e a câmera, de acordo com o vídeo (clique aqui).
- 5.2.6 Realize a montagem da câmera no tripé, após realizar o passo 5.2.2.

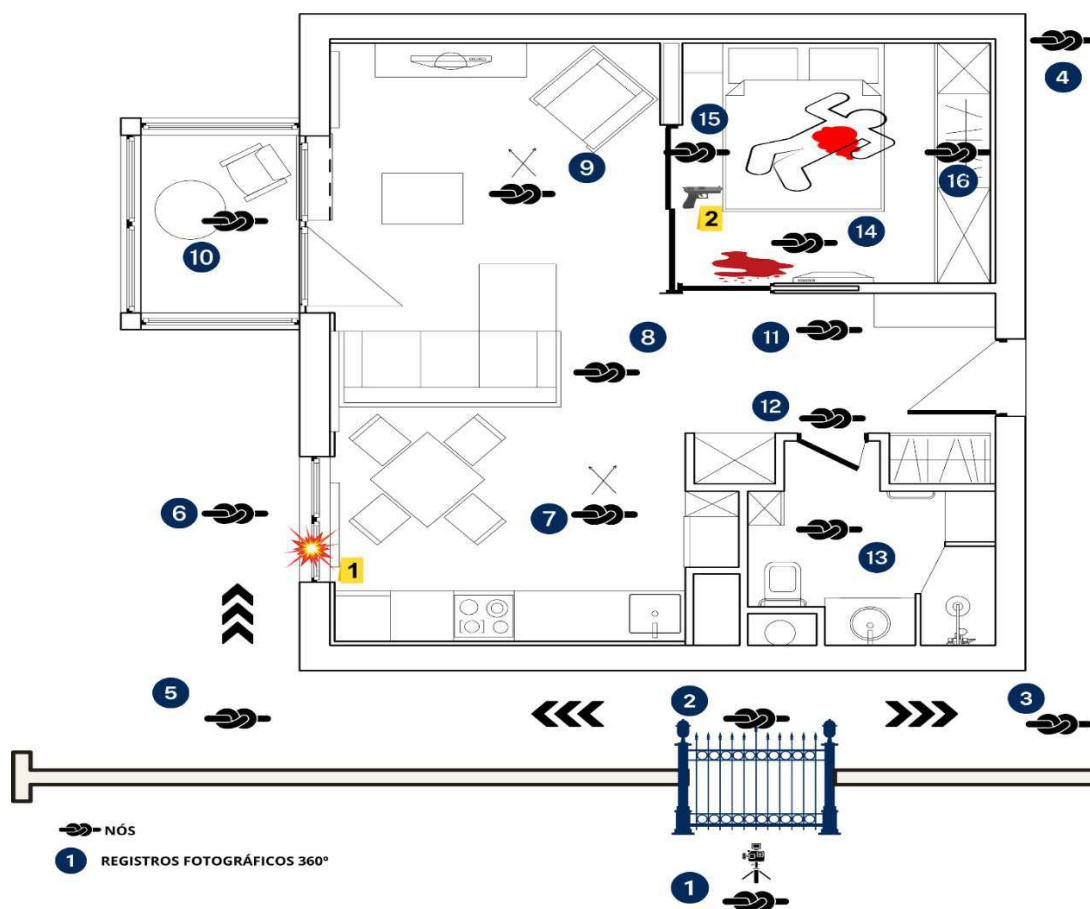
### 5.3. Planejamento e registros de fotos em perícias

5.3.1 É necessário salientar que o registro virtual do local possui, dentre outras funções, diminuir a quantidade de fotografias e extensão de laudos da criminalística.

5.3.2 Após observar todo o local, inicie a sequência de fotografias com as câmeras 360°. Após, utilize-se das câmeras DSLR, como realizado por padrão, com os detalhes, escalas e aproximações corriqueiras da seara da fotografia forense.

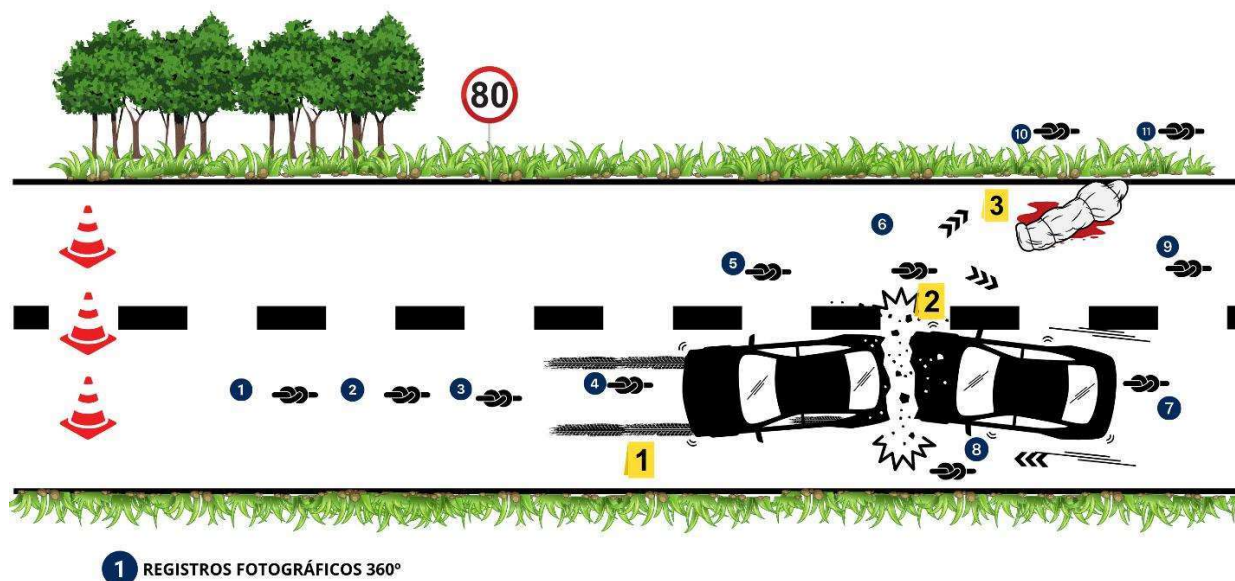
Para os registros com as fotografias 360° deve-se pensar na produção posterior de tours virtuais, seguindo abaixo o esquema de percurso de fotos, a fim de se mapear a área.

Abaixo, segue um plano de sequência de registros para a produção fotográfica:



**Figura 54: Imagem do POP (imagem 1 do POP) - representação em espaço fechado**

- 5.3.3 Como os registros fotográficos são destinados à produção de *tours* virtuais, é importante que as fotografias sejam materializadas pensando-se em uma progressão e movimentação espacial.
- 5.3.4 Os números ao lado da câmera representam os registros fotográficos realizados.
- 5.3.5 Os “nós” são de interatividade e são importantes na pós-produção, devendo-se possuir captura nesse ponto, uma vez que permitem maiores possibilidades de movimentações ou aumentam a interatividade do usuário, quando produzidos os *tours*.
- 5.3.6 Ao analisar o local, o Perito deve registrar os vestígios com as placas identificadoras ou etiquetas numeradas. Ao se registrar uma evidência, deve-se ter o cuidado de não posicionar o tripé próximo a esta, uma vez que o ângulo para se observar tornaria prejudicada a compreensão.
- 5.3.7 Os disparos devem ser realizados utilizando-se o temporizador, preferencialmente em 3 segundos, devendo e, sempre que possível, o Perito ausentar-se do cômodo de interesse. O acionamento do disparo é realizado mediante o aplicativo da câmera.
- 5.3.8 As sugestões de quantidades de disparos são apenas norteadoras, podendo o Perito realizar mais de um disparo fotográfico em um cômodo, caso queira enfatizar ângulos ou minúcias não observadas por determinado ângulo.
- 5.3.9 Sempre que possível e disponível, deve-se o Perito utilizar plástico filme PVC nas pontas dos tripés, evitando-se a contaminação dos pés do equipamento.
- 5.3.10 A critério do Perito, pode-se escolher realizar os registros 360° apenas dos eventos que tenham correlação com o evento. Neste caso, os disparos 3, 4, 9, 10 e 13 estariam dispensados da composição de *tour* virtual futuro.
- 5.3.11 Ainda que o escopo do POP delimite os crimes para o tribunal do Júri, pode-se o Perito criminal aplicar em acidentes de trânsito, julgando-lhe necessário e tecnicamente conveniente.
- 5.3.12 Em regiões abertas, como em acidentes de trânsito ou eventos homicidas em via pública, por exemplo, deve-se registrar de acordo com o exposto na figura 2:



**Figura 55: registros em acidentes de trânsito (Imagem 2 do POP)**

- 5.3.13 Atentar-se para registrar as fotografias, pensando-se na montagem de *tours* virtuais.
- 5.3.14 Em semelhança aos eventos de ambientes fechados, registrar-se inicialmente as fotos com as câmeras 360°.
- 5.3.15 É importante o registro do cadáver em pelo menos três ângulos (ou mais), a fim de se evidenciar o cadáver e lesões em curvaturas do corpo.
- 5.3.16 Em lugares que possuam inclinações que dificultem a estabilização da câmera, pode-se o perito segurá-la com a mão, mantendo-se uma distância suficiente para não obstruir a visão total da outra lente (lente posterior).
- 5.3.17 É importante observar e registrar fotos em nível próximo à placas indicativas de velocidade, marcas ou manchas no solo, enfim, tudo que tenha potencial relação com o fato e evidenciado posteriormente.

#### 5.4. Armazenamento das fotos

- 5.4.1 Após o retorno do local, deve-se o Perito armazenar as fotos, tanto as imagens retiradas pelas máquinas DSLR ou dispositivos de fotos compatíveis, quanto as registradas pela câmera 360°.
- 5.4.2 A guarda das fotos, como estipulada por Instrução Normativa e na pasta nominal do Perito.
- 5.4.3 As fotos devem ser armazenadas separadamente, sendo criadas uma pasta com fotos com a nomenclatura do RG para as fotos da DSLR e outra com o nome do RG acrescido de 360 à frente, para armazenagem das fotografias 360°.
- 5.4.4 É de suma importância a organização na nomenclatura dos arquivos, especificando ao máximo a região do local a que pertencem. Essa organização possui ganho de tempo extremo na pós-produção.

### 5.5. Guarda da câmera

5.5.1 A câmera deve ao final dos procedimentos ser acondicionada no armário de equipamentos, onde se encontram os *tablets* e *drone* da Regional.

5.5.2 Antes de acondicionar a câmera, é necessário colocar as proteções das lentes esféricas, a fim de se evitar que sejam produzidos danos às lentes.

## 6. REFERÊNCIAS

Portaria SPTC Nº 135/2018/2018 – SSP. Regulamenta, no âmbito da Superintendência de Polícia Técnico-Científica (SPTC), a COLETA DE MATERIAL BIOLÓGICO DE CONDENADOS DE ACORDO COM A LEI Nº 12.654/2012 PELOS NÚCLEOS REGIONAIS DE POLÍCIA TÉCNICO-CIENTÍFICA PARA INSERÇÃO NO BPG/SPTC-GO.

## 7. HISTÓRICO DE REVISÕES

Versão	Data	Descrição
01	08/04/2024	Emissão inicial.