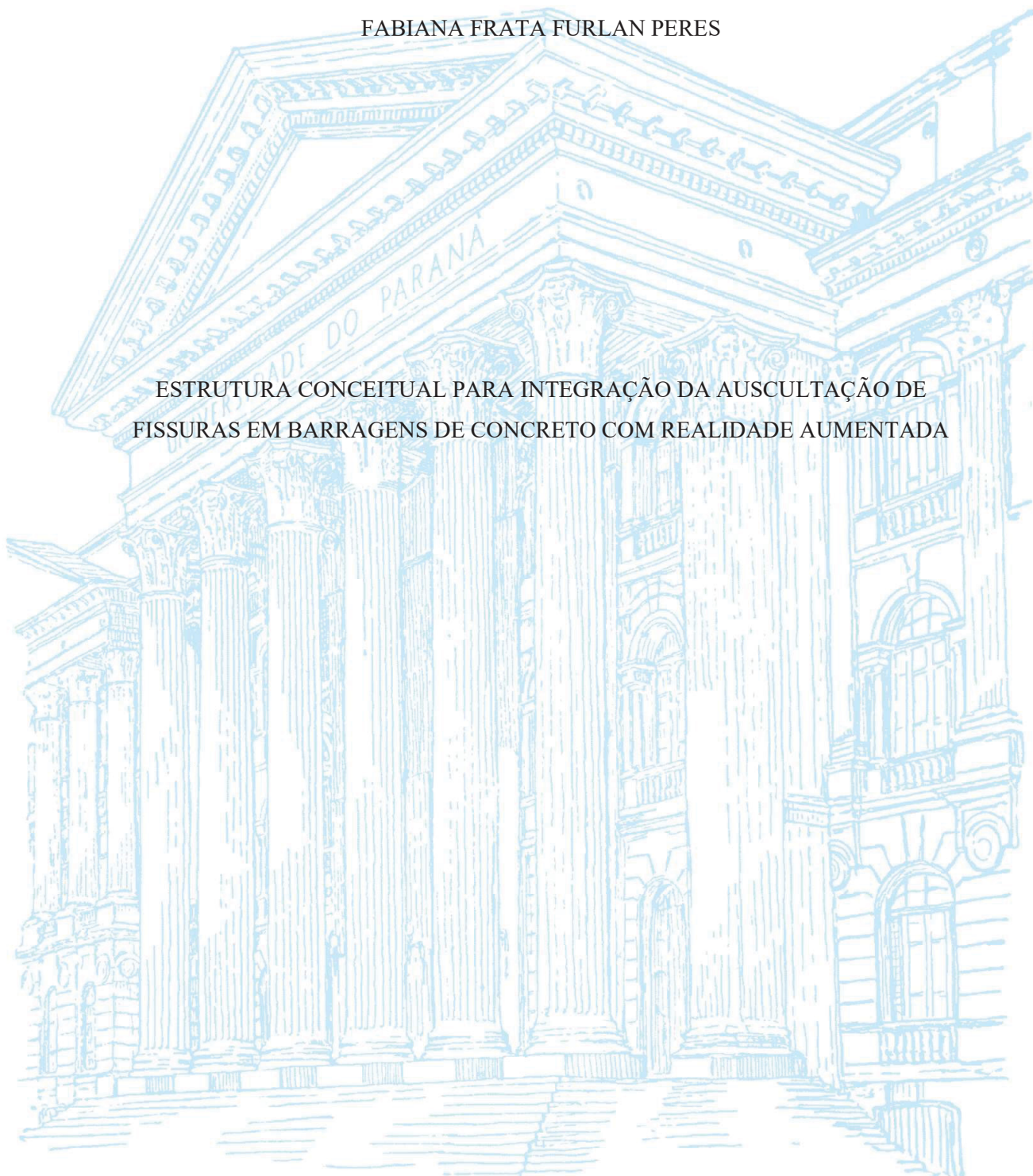


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABIANA FRATA FURLAN PERES

ESTRUTURA CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DA AUSCULTAÇÃO DE  
FISSURAS EM BARRAGENS DE CONCRETO COM REALIDADE AUMENTADA



CURITIBA

2017

FABIANA FRATA FURLAN PERES

ESTRUTURA CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DA AUSCULTAÇÃO DE  
FISSURAS EM BARRAGENS DE CONCRETO COM REALIDADE AUMENTADA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Área de concentração em Programação Matemática, na Linha de Pesquisa em Métodos Estatísticos Aplicados à Engenharia, dos Setores de Tecnologia e Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Scheer.

Coorientador: Dr. Étore Funchal de Faria.

CURITIBA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR  
BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

---

P437e Peres, Fabiana Frata Furlan  
Estrutura conceitual para integração da auscultação de fissuras em barragens de concreto com realidade aumentada / Fabiana Frata Furlan Peres. – Curitiba, 2017.  
129 p. : il. color. ; 30 cm.

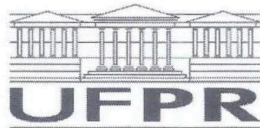
Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, 2017.

1. Fissuras no concreto. 2. Segurança de barragens. 3. Realidade aumentada. 4. Estrutura conceitual. I. Universidade Federal do Paraná. II. Scheer, Sergio. III. Faria, Étore Funchal de. IV. Título.

CDD: 627.82

---

Bibliotecária: Romilda Santos - CRB-9/1214



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR CIÊNCIAS EXATAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MÉTODOS NUMÉRICOS  
EM ENGENHARIA

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **FABIANA FRATA FURLAN PERES** intitulada: **ESTRUTURA CONCEITUAL PARA INTEGRAÇÃO DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS EM BARRAGENS DE CONCRETO COM REALIDADE AUMENTADA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 13 de Dezembro de 2017.

SÉRGIO SCHEER  
Presidente da Banca Examinadora

KLAUS DE GEUS  
Avaliador Interno

CINTHIA OBLADEN DE ALMENDRA FREITAS  
Avaliador Externo

PAULO HENRIQUE SIQUEIRA  
Avaliador Interno

JOSE MARQUES FILHO  
Avaliador Externo

Ao meu querido esposo Frank, meus filhos Murilo e Ricardo e meus pais Iria e Leonel.

## AGRADECIMENTOS

Quando me propus a enfrentar este desafio, não sabia a sua dimensão. Embora o mérito seja pessoal, tenho convicção de que se não houvesse amigos, entes queridos, professores especiais e Deus, eu não teria conseguido. Agradeço de coração a todos. No entanto algumas dessas pessoas faço questão de agradecer de modo especial.

Ao meu companheiro, meus filhos e meus pais, eu agradeço de coração a compreensão, a paciência e o amor.

À Professora Dra. Liliana e ao Professor Dr. e Orientador Sergio Scheer: Muito obrigada! Jamais esquecerei os seres humanos maravilhosos que são. Com vocês eu aprendi muito mais do que matérias, aprendi como verdadeiros doutores devem ser.

Ao meu coorientador Dr. Étore: Muito obrigada pelas inúmeras vezes que reservou seu tempo para me escutar, ajudar tecnicamente, dar conselhos, direcionar e corrigir meus textos.

Ao meu querido amigo Claudio. Obrigada pelo imensurável apoio nos momentos de pânico; você com certeza é instrumento de Deus na minha vida.

À Nanci, muito obrigada pelos conselhos e consolos nas horas de desânimo.

Ao meu eterno e querido professor Jorge Habib. Você é uma pessoa admirável, minha referência, exemplo e modelo a ser seguido. Obrigada por tudo, principalmente por cada visita, pela confiança e pelo incentivo.

Aos meus amigos “Dinterianos”. Muito obrigada a todos vocês! Juntos nós enfrentamos e matamos todos os leões, um de cada vez. Agradeço de modo especial a amiga Eliete, Sheila e ao amigo Brito. Muito obrigada! Vocês sabem o quanto foram importantes nesta jornada e sabem porque se tornaram especiais na minha vida!

Aos amigos Itamar e William. Muito obrigada pela disposição e suporte técnico necessário.

Jessica, Valdirene, Luzinete e Elisangela, obrigada pelos cuidados com meu lar.

Agradeço também as instituições envolvidas no Dinter: UFPR/PPGMNE, UNIOESTE, Ceasb e Itaipu Binacional.

Por fim, dessas instituições agradeço em especial a Alexandra do Ceasb, ao Anderson, a Daniela e a Silvia de Itaipu. Muito obrigada!

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.  
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”

**Mahatma Gandhi**

## RESUMO

Barragens são estruturas que proporcionam benefícios para a sociedade. No entanto elas possuem um potencial de risco associado. Na fase de operação a segurança da barragem é mantida através da execução constante de um plano de auscultação e manutenção. Não é incomum a presença de manifestações patológicas como fissuras nessas estruturas. Elas são identificadas, avaliadas e monitoradas durante as inspeções visuais. Porém não é um trabalho fácil, já que fissuras são sinais discretos, quase invisíveis na superfície. Protótipos desenvolvidos para o contexto de segurança de barragens demonstraram que a Realidade Aumentada é uma tecnologia promissora. Acredita-se que empregar a Realidade Aumentada no âmbito da auscultação de fissuras possa auxiliar os técnicos a desempenharem seus trabalhos. Desse modo esta pesquisa elaborou uma estrutura conceitual para integração da auscultação das fissuras em barragens de concreto com a Realidade Aumentada. Essa estrutura conceitual identifica contribuições da tecnologia aos trabalhos do domínio, aponta os desafios e as limitações associadas ao processo de integração. O método da pesquisa utilizado é de caráter qualitativo, exploratório. Ele toma como base os métodos da Teoria Fundamentada. A coleta de dados se deu por vários mecanismos, tais como visitas a campo, entrevistas e estudos de normas, leis, boletins e artigos. Para organizar os dados a respeito dos trabalhos da auscultação de fissuras, foi proposta uma taxonomia hierárquica. Os trabalhos identificados na taxonomia foram caracterizados. Foram também definidas dimensões que classificaram e categorizaram os conceitos da Realidade Aumentada relevantes para o domínio. Os trabalhos da auscultação de fissuras foram então analisados. Como resultado emergiram conceitos e a estrutura tomou forma e comunicou as ideias. O resultado obtido atendeu o objetivo proposto. A estrutura conceitual desenvolvida apontou benefícios que a tecnologia pode proporcionar aos trabalhos do domínio. A estrutura também sugeriu classes de sistemas para o domínio, apresentou uma proposta de arquitetura e ainda expôs os desafios e as limitações para a efetiva integração.

Palavras-chave: Fissuras no Concreto. Segurança de Barragens. Realidade Aumentada. Estrutura Conceitual. Teoria Fundamentada.

## ABSTRACT

Dams are structures that provide benefits to society. However, they have an associated risk potential. In the operation phase the safety of the dam is maintained through the constant execution of a monitoring and maintenance plan. It is not uncommon to have pathological manifestations such as cracks in these structures. They are identified, evaluated and monitored during visual inspections. But it is not an easy job, since cracks are discrete, almost invisible signs on the surface. Prototypes developed for the context of dam safety have demonstrated that Augmented Reality is a promising technology. It is believed that employing the Augmented Reality in the framework of the auscultation of fissures can help the technicians to carry out their work. In this way this research elaborated a conceptual framework for the integration of the auscultation of the fissures in concrete dams with the Augmented Reality. This conceptual framework identifies the contributions of technology to the work of the domain, points out the challenges and limitations associated with the integration process. The research method used is qualitative, exploratory. It takes as its basis the methods of Grounded Theory. Data collection took place through various mechanisms, such as field visits, interviews and studies of norms, laws, bulletins and articles. A hierarchical taxonomy was proposed in order to organize the data about the works of the crack auscultation. The works identified in the taxonomy were characterized. It was also defined dimensions that classified and categorized the Augmented Reality concepts relevant to the domain. The crack auscultation work was then analyzed. As a result, concepts emerged and the structure took shape and communicated ideas. The result obtained met the proposed objective. The developed conceptual framework pointed out benefits that technology can provide to domain jobs. The structure also suggested classes of systems for the domain, presented an architecture proposal and also exposed the challenges and limitations for the effective integration.

Keywords: Crack in Concrete. Dam Safety. Augmented Reality. Conceptual Framework.  
Grounded Theory

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – (A) IDENTIFICA LOCAIS DA BARRAGEM; (B) PROJETA MODELOS 3D DE PARTES DA BARRAGEM; (C) ORIENTA A MANUTENÇÃO DE UM EXTENSÔMETRO .....	19
FIGURA 2 – BARRAGEM DE CONCRETO DE GRAVIDADE.....	26
FIGURA 3 – BARRAGEM DE CONCRETO DE GRAVIDADE ALIVIADA.....	27
FIGURA 4 – BARRAGEM DE CONCRETO EM FORMA DE ARCO.....	27
FIGURA 5 – BARRAGEM DE CONCRETO TIPO ARCO-GRAVIDADE.....	28
FIGURA 6 – BARRAGEM DE CONCRETO EM CONTRAFORTE.....	28
FIGURA 7 – SEGURANÇA DE BARRAGENS NA FASE DE OPERAÇÃO.....	29
FIGURA 8 – DETERIORAÇÕES DETECTADAS NA INSPEÇÃO VISUAL .....	30
FIGURA 9 – CORRELAÇÃO DOS TIPOS DE INSTRUMENTOS E DETERIORAÇÕES EM BARRAGENS DE CONCRETO .....	32
FIGURA 10 – ESTRUTURA GERAL DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS .....	35
FIGURA 11 – FISSURA DO TIPO VERTICAL .....	37
FIGURA 12 – FISSURA DO TIPO HORIZONTAL .....	37
FIGURA 13 – FISSURA TIPO MAPA .....	37
FIGURA 14 – RELAÇÕES ENTRE AS FASES DA VIDA DE UMA BARRAGEM E O FISSURAMENTO.....	39
FIGURA 15 – TÉCNICAS DE RASTREAMENTO.....	44
FIGURA 16 – MARCADOR FIDUCIAL .....	45
FIGURA 17 – FORMAS DE VISUALIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA.....	48
FIGURA 18 - DIAGRAMAS CONCEITUAIS: (A) VISUALIZADOR DE RETINA; (B) PROJETOR MONTADO NA CABEÇA; (C) VISUALIZADOR MONTADO NA CABEÇA.....	49
FIGURA 19 – DIAGRAMA CONCEITUAL DA REALIDADE AUMENTADA BASEADA EM TELA .....	50
FIGURA 20 – VISUALIZADOR ESPACIAL DO TIPO ÓTICO .....	51
FIGURA 21 – VISUALIZADOR ESPACIAL COM PROJEÇÃO.....	51
FIGURA 22 – TELA DE APLICAÇÃO VOMAR.....	52

FIGURA 23 – EXEMPLO DO MÉTODO DE INTERAÇÃO POR MEIO DE GESTOS.....	53
FIGURA 24 – EXEMPLO DO MÉTODO DE INTERAÇÃO POR NAVEGAÇÃO .....	53
FIGURA 25 – EXEMPLO DE INTERFACE MULTIMODAL.....	54
FIGURA 26 – INTERFACE DO PROJETO STUDIERSTUBE.....	55
FIGURA 27 – RELACIONAMENTO ENTRE TAREFAS, USUÁRIOS E TECNOLOGIAS. .....	56
FIGURA 28 - MODELO PROCESSADOR HUMANO .....	57
FIGURA 29 – TAXONOMIA HIERÁRQUICA DAS OPERAÇÕES DA AEC.....	61
FIGURA 30 – TAXONOMIA DE BERLINER ET AL. ....	63
FIGURA 31 – CONTÍNUO VIRTUALIDADE .....	63
FIGURA 32 – EXTENSÃO DO CONHECIMENTO SOBRE O AMBIENTE AUMENTADO .....	64
FIGURA 33 –FIDELIDADE NA REPRESENTAÇÃO.....	64
FIGURA 34 – EXTENSÃO DA METÁFORA DE PRESENÇA.....	65
FIGURA 35 – CENTRICIDADE DO VISUALIZADOR .....	65
FIGURA 36 – CONGRUÊNCIA DO CONTROLE DO VISUALIZADOR .....	65
FIGURA 37 – TIPOS DE AUMENTO.....	66
FIGURA 38 – FUNCIONALIDADE DO SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA.....	67
FIGURA 39 – MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO .....	77
FIGURA 40 – TAXONOMIA HIERÁRQUICA DAS TAREFAS DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS.....	83
FIGURA 41 – PROCESSOS PARA A AUSCULTAÇÃO DAS FISSURAS.....	83
FIGURA 42 – ATIVIDADES PARA A AUSCULTAÇÃO DAS FISSURAS .....	84
FIGURA 43 – SUBATIVIDADES PARA A AUSCULTAÇÃO DAS FISSURAS .....	85
FIGURA 44 – TAXONOMIA HIERÁRQUICA PROPOSTA.....	87
FIGURA 45 –(A) ESTRUTURA GERAL DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS; (B) MÉTODO CÍCLICO PROPOSTO PARA GESTÃO DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS.....	89
FIGURA 46 - (A) ESTRUTURA GERA DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS; (B) MÉTODO CICLICO PROPOSTO PARA EXECUÇÃO DE ATIVIDADES.....	91
FIGURA 47 – RELAÇÕES ENTRE SISTEMA, TAREFA, AMBIENTE E USUÁRIO .....	96
FIGURA 48 – RELAÇÃO DA COMPLEXIDADE DOS DADOS COM AS PRÁTICAS..	109

FIGURA 49 – RELAÇÕES ENTRE SISTEMAS, PROJETO, PRÁTICAS E ESTRUTURA CONCEITUAL .....	110
FIGURA 50 - MODELO DE INFORMAÇÃO PARA O DOMÍNIO .....	112
FIGURA 51 – ARQUITETURA DOS SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA DO DOMÍNIO.....	113
FIGURA 52 – TELAS DO PROTÓTIPO DE REALIDADE AUMENTADA PARA O DOMÍNIO DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS .....	119

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS QUANTO À ABERTURA EM BARRAGENS DE CONCRETO. ....	40
QUADRO 2 – CARACTERÍSTICAS DAS TÉCNICAS DE RASTREAMENTO .....	47
QUADRO 3 – ADOÇÃO DA TIC NA AEC/FM .....	59
QUADRO 4 – ELEMENTOS DA TAXONOMIA HIERÁRQUICA DAS OPERAÇÕES DA AEC.....	61
QUADRO 5 – BENEFÍCIOS EM UTILIZAR REALIDADE AUMENTADA COM BIM ...	71
QUADRO 6 – DIMENSÕES DAS TAXONOMIAS DE REALIDADE AUMENTADA .....	80
QUADRO 7 – QUESTÕES PARA CARACTERIZAÇÃO DOS TRABALHOS .....	86
QUADRO 8 – CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS .....	88
QUADRO 9 – INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO DE PROCESSOS .....	90
QUADRO 10 – CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES .....	92
QUADRO 11 – CLASSIFICAÇÃO DAS TAREFAS QUANTO À TAXONOMIA DE BERLINER ET AL.....	93
QUADRO 12 – CARACTERIZAÇÃO DAS SUBATIVIDADES.....	94
QUADRO 13 – CARACTERIZAÇÃO DAS TAREFAS.....	95
QUADRO 14 – RELACIONAMENTO ENTRE TAREFA, AMBIENTE E SISTEMA .....	97
QUADRO 15 – CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES.....	98
QUADRO 16 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “PROCESSOS”.....	98
QUADRO 17 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “ATIVIDADES” .....	100
QUADRO 18 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES” .....	101
QUADRO 19 – AMBIENTE DE REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES .....	102
QUADRO 20 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “TAREFAS” .....	103
QUADRO 21 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO DE COMUNICAÇÃO .....	104
QUADRO 22 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO MOTOR .....	106
QUADRO 23 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO PERCEPTIVO.....	106

QUADRO 24 – DADOS SENSIBILIZADORES “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO COGNITIVO .....	108
---	-----

## LISTA DE SIGLAS

3D	–	Três Dimensões
AEC	–	Arquitetura, Engenharia e Construção
AEC/FM	–	Arquitetura, Engenharia e Construção/Gerenciamento de Edificações
AGP	–	Auxílio às atividades da Gestão em ambiente Preparados
AOD	–	Auxílio às atividades Operacionais em ambientes Dinâmicos
BIM	–	Modelo ou Modelagem da Informação da Construção
CNRH	–	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
ERP	–	Planejamento dos Recursos da Empresa
GPS	–	Sistema de Posicionamento Global
ICOLD	–	<i>International Commission on Large Dams</i>
IHC	–	Interação Humano–Computador
LCD	–	<i>Liquid Cristal Display</i>
MARSIFT	–	<i>Mobile Augmented Reality System for Infrastructure Field Tasks</i>
OST	–	<i>Optical See-Through</i>
PDA	–	Assistente Pessoal Digital
QR Code	–	Código de Resposta Rápida
RAA	–	Reação Álcali-Agregado
RACI	–	<i>Responsible, Accountable, Consulted e Informed</i>
SfM	–	<i>Structure-from-Motion</i>
SLAM	–	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
SVR	–	Superfície de Visualização de Retina
SMC	–	Superfície de visualização Montada na Cabeça
TIC	–	Tecnologia da Informação e Comunicação
VEP	–	Visualizadores Espaciais com Projeções
VST	–	<i>Video See-Through</i>
FEMA	–	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
TADS	–	<i>Training Aids for Dam Safety</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2	ABORDAGEM DO PROBLEMA .....	19
1.3	CONCEITOS SENSIBILIZADORES .....	20
1.4	QUESTÕES DA PESQUISA .....	21
1.5	OBJETIVOS .....	21
1.6	JUSTIFICATIVA.....	22
1.7	RESULTADOS ESPERADOS.....	22
1.8	ESTRUTURA DA TESE.....	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1	ESTRUTURA CONCEITUAL.....	24
2.2	BARRAGENS .....	25
2.2.1	Segurança de Barragens.....	28
2.2.2	Gestão da Segurança de Barragens.....	33
2.2.3	Fissuras em Barragens de Concreto.....	36
2.2.4	Auscultação de Fissuras.....	40
2.3	REALIDADE AUMENTADA .....	42
2.3.1	Técnica de Rastreamento .....	44
2.3.2	Mecanismo de Visualização .....	46
2.3.3	Mecanismo de Interação .....	52
2.3.4	Projetos de Sistemas de Realidade Aumentada .....	55
2.4	MODELO DA INFORMAÇÃO .....	58
2.5	TAXONOMIAS.....	59
2.5.1	Taxonomias na AEC/FM.....	60
2.5.2	Taxonomia do Comportamento Humano .....	62
2.5.3	Taxonomias de Realidade Aumentada .....	62
2.6	TRABALHOS CORRELATOS .....	70
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
3	MÉTODO DA PESQUISA.....	74
3.1	TEORIA FUNDAMENTADA .....	74
3.2	ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO .....	76

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	79
4.1	PREPARAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	79
4.1.1	Síntese e Caracterização da Realidade Aumentada .....	79
4.1.2	Profissionais para Auscultação das Fissuras.....	81
4.1.3	Ambientes Físicos para Auscultação das Fissuras.....	81
4.1.4	Trabalhos para Auscultação de Fissuras.....	82
4.1.4.1	Caracterização dos Processos .....	88
4.1.4.2	Caracterização das Atividades .....	90
4.1.4.3	Caracterização das Subatividades.....	93
4.1.4.4	Caracterização das Tarefas .....	93
4.2	ANÁLISE DOS DADOS.....	96
4.2.1	Realidade Aumentada nos Processos.....	98
4.2.2	Realidade Aumentada nas Atividades .....	100
4.2.3	Realidade Aumentada nas Tarefas.....	103
4.2.4	Considerações da Análise .....	109
4.3	IDENTIFICAÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DE CONCEITOS.....	109
4.3.1	Sistemas de Realidade Aumentada para o Domínio.....	110
4.3.2	Arquitetura dos Sistemas para o Domínio .....	111
4.3.3	Potencial da Tecnologia para o Domínio.....	114
4.3.4	Desafios e Limitações da Integração da Tecnologia ao Domínio .....	115
4.4	VALIDAÇÃO DA PESQUISA .....	117
4.4.1	Credibilidade.....	117
4.4.2	Originalidade .....	118
4.4.3	Ressonância .....	118
4.4.4	Utilidade .....	118
4.4.5	Protótipo .....	119
5	CONCLUSÃO .....	120
	REFERÊNCIAS .....	123

## 1 INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas que proporcionam benefícios para a sociedade como produção de energia elétrica, abastecimento de água e regularização de vazões; no entanto elas possuem um potencial de risco associado. (ITAIPU, 2011).

A segurança de uma barragem é consequência de boas práticas nas fases de projeto e construção e da execução constante de um plano de auscultação e manutenção durante a fase de operação.

Auscultação no contexto de segurança de barragens consiste em avaliar o comportamento da estrutura apoiado por resultados de inspeções visuais e de monitoramento realizado mediante instrumentos.

A execução do plano de auscultação não é simples e o emprego de tecnologias computacionais para auxiliar as tarefas tem proporcionado consideráveis benefícios.

Atualmente é comum o uso das tecnologias computacionais no contexto principalmente para automação da coleta de dados por instrumentos instalados na estrutura e para extrair informações desses dados pertinentes ao contexto. (COELHO; PATIAS; GARAY, 2015; JEON et al., 2009).

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Em barragens não é incomum a presença de manifestações patológicas. Durante a auscultação da estrutura elas são identificadas, avaliadas e monitoradas. Entre as manifestações patológicas encontradas nas barragens de concreto, estão as fissuras. (ICOLD, 1997).

Piasentin (2011) afirma que fissuras no concreto são identificadas durante as inspeções visuais. O mesmo autor afirma ainda que as observações realizadas por técnicos experientes e familiarizados com a barragem são inestimáveis para avaliar corretamente o desempenho e a segurança da estrutura. (PIASENTIN, 2003).

Zhang e Galletta (2006) complementam enfatizando a importância da inspeção visual. Eles afirmam que embora haja limitações, nenhum outro método tem o mesmo potencial de integrar rapidamente toda a situação do comportamento da barragem.

Porém identificar, avaliar e monitorar fissuras, mesmo para o técnico experiente, não é um trabalho fácil, já que são sinais discretos, quase invisíveis na superfície da estrutura.

Nas últimas décadas ocorreram avanços significativos da tecnologia de Realidade Aumentada. Ela enriquece os sentidos humanos e proporciona a sensação que informações virtuais coexistem no ambiente real. (AZUMA, 1997).

Pesquisas afirmam que a Realidade Aumentada é promissora no setor de infraestrutura (BEHZADAN; DONG; KAMAT, 2015; CARMIGNIANI; FURHT, 2011; CHI; KANG; WANG, 2013; GHEISARI et al., 2014; KWON; PARK; LIM, 2014; MEŽA; TURK; DOLENC, 2015; RANKOHI; WAUGH, 2013; WEBEL et al., 2013; ZHOU; LUO; YANG, 2017).

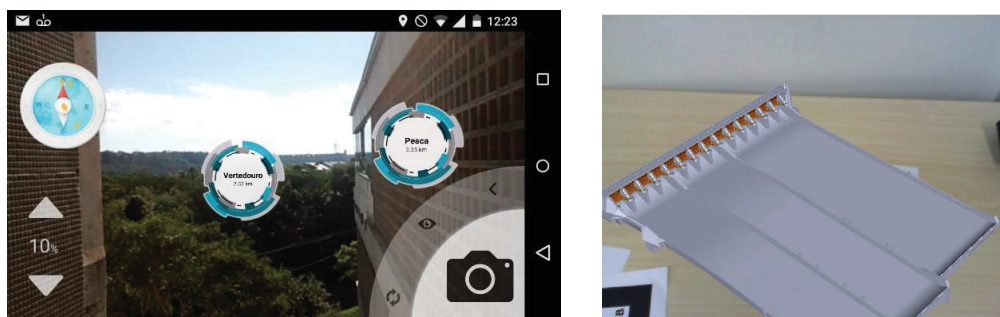
Vale ressaltar que a adoção de novas tecnologia pelas organizações são impulsionadas principalmente pela redução de custos, aceleração de processos e melhorias na qualidade dos seus produtos. A Realidade Aumentada, quando disponibiliza as informações apropriadas, nos locais onde elas são úteis, certamente reduz custos, tempo de execução, treinamento e ainda evita a ocorrência de erros. (REGENBRECHT, 2007).

Diante do exposto, acredita-se que empregar a Realidade Aumentada no âmbito da auscultação de fissuras possa auxiliar os técnicos à desempenharem melhor suas tarefas.

Há algum tempo busca-se avaliar o emprego da tecnologia no contexto da segurança da barragem mediante o desenvolvimento de protótipos. (GUIDOLIN, 2013; PERES, F.F.F.; SCHEER, S.; FARIA, E.F. AND VIAN, 2015; VIAN, 2011). Esses protótipos, mostrados na Figura 1, demonstraram que a Realidade Aumentada oferece boas perspectivas para o contexto.

Considerando as afirmações de Piasentin (2003, 2011), a definição do que é a Realidade Aumentada e as experiências vivenciadas com o desenvolvimento de protótipos, vislumbra-se nesta pesquisa identificar as contribuições, as limitações e os desafios que a Realidade Aumentada pode proporcionar ao domínio da auscultação de fissuras. Acredita-se que a proposição de uma estrutura conceitual seja o caminho adequado para isso.

FIGURA 1 – (A) IDENTIFICA LOCAIS DA BARRAGEM; (B) PROJETA MODELOS 3D DE PARTES DA BARRAGEM; (C) ORIENTA A MANUTENÇÃO DE UM EXTENSÔMETRO



(a)

(b)



(c)

FONTE: (a) PERES E OUTROS (2015); (b) VIAN (2011) e (c) GUIDOLIN (2013).

## 1.2 ABORDAGEM DO PROBLEMA

Segundo Jabareen (2009), uma “estrutura conceitual” corresponde a uma rede de conceitos interligados que emergem de processos de teorização conduzidos por métodos da Teoria Fundamentada (*Grounded Theory*).

Desse modo, considerando o problema de pesquisa descrito na seção anterior e a definição de estrutura conceitual apresentada, esta pesquisa aborda o problema utilizando uma estratégia de pesquisa proposta como descrita no capítulo 3, em específico na seção 3.2, com um método elaborado com base na Teoria Fundamentada e seus procedimentos.

Os métodos da Teoria Fundamentada abrangem pesquisas de cunho qualitativo. Eles se concentram em criar esquemas conceituais de teorias por meio da análise indutiva<sup>1</sup> a partir dos dados. (CHARMAZ, 2009).

Destaca-se ainda que esta pesquisa tem caráter exploratório. Uma pesquisa exploratória, segundo Gil (2008), tem como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis em estudos posteriores.

### 1.3 CONCEITOS SENSIBILIZADORES

Conforme colocado anteriormente, a Teoria Fundamentada é a base do método utilizado na condução desta pesquisa. As diretrizes da Teoria Fundamentada sugerem que sejam identificados conceitos sensibilizadores cuja função é orientar o ponto de partida da pesquisa e auxiliar a formulação das questões da pesquisa (CHARMAZ, 2009). No âmbito desta pesquisa os conceitos sensibilizadores identificados são:

- As observações de técnicos experientes e familiarizados com a barragem são inestimáveis para apreciar corretamente o desempenho e a segurança da barragem. (PIASENTIN, 2003).
- Apesar das inspeções visuais terem limitações, nenhum outro método tem o mesmo potencial de integrar rapidamente toda a situação do comportamento. (ZHANG; GALLETTA, 2006).
- Realidade Aumentada enriquece os sentidos humanos e proporciona a sensação de que informações virtuais coexistem no ambiente real. (AZUMA, 1997).
- Realidade Aumentada, quando disponibiliza informações apropriadas em locais apropriados, reduz custos, tempo, treinamento e erros. (REGENBRECHT, 2007).
- Pesquisas afirmam que a Realidade Aumentada é promissora no setor de infraestrutura (BEHZADAN; DONG; KAMAT, 2015; CARMIGNIANI; FURHT, 2011; CHI; KANG; WANG, 2013; GHEISARI et al., 2014; KWON;

---

<sup>1</sup> um tipo de raciocínio que inicia com o estudo de uma variedade de casos individuais e extrapola os padrões obtidos a partir destes para desenvolver uma categoria conceitual. (CHARMAZ, 2009, pg 249).

PARK; LIM, 2014; MEŽA; TURK; DOLENC, 2015; RANKOHI; WAUGH, 2013; WEBEL et al., 2013; ZHOU; LUO; YANG, 2017).

- O desenvolvimento de protótipos para a segurança de barragens mostrou que a Realidade Aumentada oferece boas perspectivas para o contexto.
- Para que os protótipos de Realidade Aumentada se tornem aplicações efetivas, é necessária uma pesquisa que avalie questões a respeito da integração dos trabalhos realizados à tecnologia, considerando seu potencial.
- Os resultados obtidos com os protótipos estimularam a busca por um meio de discutir os impactos que a integração pode proporcionar aos trabalhos.

#### 1.4 QUESTÕES DA PESQUISA

As questões identificadas nesta pesquisa são:

- Como a Realidade Aumentada pode contribuir com as práticas para auscultar as fissuras de uma barragem de concreto?
- Quais as práticas mais adequadas para integrar a tecnologia de Realidade Aumentada?
- Quais são os desafios para integrar a Realidade Aumentada no contexto da auscultação de fissuras em barragens de concreto?
- Quais as limitações da tecnologia no contexto da auscultação de fissuras em barragens de concreto?

#### 1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é desenvolver uma estrutura conceitual para integração da auscultação das fissuras em barragens de concreto com a Realidade Aumentada, identificando as contribuições do uso da tecnologia nos trabalhos relacionados ao domínio, os desafios e limitações associadas ao contexto.

Para alcançar o objetivo geral, a pesquisa tem os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os trabalhos da segurança de barragens para a auscultação das fissuras em barragens de concreto;
- Identificar as contribuições que a Realidade Aumentada pode proporcionar aos trabalhos identificados;

- Apontar os desafios para o emprego da Realidade Aumentada nos trabalhos identificados.
- Apontar as limitações para o emprego da Realidade Aumentada nos trabalhos identificados.

## 1.6 JUSTIFICATIVA

Novas tecnologias computacionais de visualização e interação como a Realidade Aumentada emergiram.

Auscultar fissuras não é um trabalho fácil, mesmo para o técnico experiente. Acredita-se que a Realidade Aumentada possa proporcionar vários benefícios na realização dos trabalhos necessários no domínio.

Na Arquitetura, Engenharia e Construção/Gerenciamento de Edificações (AEC/FM), pesquisas afirmam que a Realidade Aumentada é promissora. Inclusive os trabalhos de Chi; Kang e Wang (2013), Jiao et al. (2013) e Rankohi e Waugh (2013) apontam os benefícios proporcionados pela tecnologia na realização das tarefas exigidas no contexto, principalmente na fase de projeto e construção das edificações. No entanto, nenhum trabalho foi encontrado na literatura que investigue os benefícios da integração da tecnologia às práticas exigidas na auscultação das fissuras.

## 1.7 RESULTADOS ESPERADOS

É esperado obter uma estrutura de nível conceitual que discuta e aponte as contribuições, os desafios e as limitações existentes para integrar a tecnologia de Realidade Aumentada no domínio da auscultação de fissuras.

## 1.8 ESTRUTURA DA TESE

Esta pesquisa encontra-se descrita em quatro capítulos, além deste. Após introduzir o problema de pesquisa, estabelecer os objetivos e os resultados esperados, é apresentado o segundo capítulo nomeado de “Fundamentação Teórica”.

O segundo capítulo é composto por dois tipos de dados: aqueles que retratam os fundamentos para sustentação de decisões tomadas na condução da pesquisa; e aqueles que representam os dados coletados do domínio de trabalho que se deseja integrar à tecnologia, os

dados coletados sobre a própria tecnologia e ainda outros dados coletados que são relevantes para o processo de desenvolvimento da estrutura conceitual de integração da Realidade Aumentada ao domínio de trabalho.

O terceiro capítulo, nomeado de “Método Proposto” explica a abordagem adotada para conduzir a pesquisa e alcançar o objetivo estabelecido. Já no quarto capítulo, nomeado de “Resultados e Discussão”, encontra-se o desenvolvimento da pesquisa utilizando o método proposto e os dados coletados, apresentados na fundamentação teórica.

O desenvolvimento da pesquisa é dividido em quatro partes. A primeira parte aborda a preparação e a organização dos dados; ela está descrita na primeira seção do quarto capítulo; a segunda seção do mesmo capítulo contém a segunda parte do desenvolvimento da pesquisa: a análise dos dados. Na terceira parte ocorre a identificação e a categorização dos conceitos que compõem a estrutura conceitual proposta (terceira seção do capítulo 4). Por fim, a última parte do capítulo 4 descreve a validação da pesquisa.

As conclusões obtidas com os resultados desta pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no quinto e último capítulo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os assuntos básicos relacionados a temática desta pesquisa. Inicialmente é apresentado o significado do termo “estrutura conceitual”. Após são abordados a auscultação de fissuras em barragens de concreto e outros assuntos associados a este tema. Na sequência apresentam-se a Realidade Aumentada e também outros tópicos considerados relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa e relacionados à tecnologia. Neste capítulo são apresentados também outros temas considerados no desenvolvimento desta pesquisa, supostos relevantes como modelo da informação, o emprego da tecnologia na AEC/FM e taxonomias. Por fim são apresentados alguns trabalhos correlatos.

### 2.1 ESTRUTURA CONCEITUAL

O termo “estrutura” para Shehabuddeen e outros (1999) é utilizado para referir-se a representações que traduzem temas complexos em esquemas simples com intuito de:

- Comunicar ideias e descobertas;
- Permitir a realização de comparações entre diferentes situações e abordagens;
- Definir o domínio ou os limites de uma situação;
- Descrever o contexto ou argumentar a validade de uma descoberta;
- Apoiar o desenvolvimento de procedimentos, técnicas ou métodos e ferramentas.

Conclui-se então que as estruturas facilitam a comunicação e o entendimento de uma situação, por parte de um grupo, mesmo que os membros tenham diferentes perspectivas. Elas são recursos para apoio ao processo de tomada de decisões e para a resolução de problemas.

Já o termo “estrutura conceitual” é definido na literatura de pelo menos três formas diferentes. Alguns veem “estrutura conceitual” como uma representação da organização de um estudo ou dos principais princípios teóricos, normalmente em forma de uma figura disposta na revisão da literatura. Outros acreditam que as estruturas conceituais e as estruturas teóricas são a mesma coisa. Neste caso é fundamental que seja estabelecido o significado do termo teoria. Por fim há aqueles que entendem estrutura conceitual como uma forma de relacionar elementos do processo de uma pesquisa. (RAVITCH; RIGGAN, 2017).

Entre as definições encontradas na literatura para “estrutura conceitual” aquela que condiz com o significado adotado para este trabalho é o apresentado por Jabareen (2009). Ele

estabelece sua definição delimitando a definição apresentada por Miles e Huberman (2014, p. 20).

Para Miles e Huberman (2014, p. 20) uma estrutura conceitual explica de forma gráfica ou narrativa, as principais coisas a serem estudadas (os fatores chaves, os constructos ou as variáveis) e a relação presumida entre elas. Segundo os mesmos autores as estruturas podem ser simples ou elaboradas, sensíveis ou conduzidas por uma teoria, descritivas ou causais.

Para Jabareen (2009) as estruturas conceituais devem explorar somente os constructos. Segundo o autor, fatores chaves e variáveis são adequados a modelos conceituais e não a estruturas conceituais. Desse modo Jabareen (2009) redefine “estrutura conceitual” como uma rede de conceitos interligados com o propósito de compreender fenômenos. Ele estende a definição afirmando que a rede de conceitos emerge de processos de teorização conduzidos por métodos da Teoria Fundamentada (*Grounded Theory*). Os métodos da Teoria Fundamentada são descritos no capítulo 3. Eles foram utilizados como base para o método proposto para conduzir esta pesquisa.

## 2.2 BARRAGENS

As barragens são recursos importantes para o desenvolvimento da sociedade humana. Segundo o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002, p. 17), barragem é uma “estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do seu nível d’água e/ou criar um reservatório de acumulação de água [...]”.

Essas estruturas proporcionam diversos benefícios para a sociedade como a produção de energia elétrica, o abastecimento de água e a regularização de vazões; mas também oferecem riscos. (ITAIPU, 2011).

Para reduzir esses riscos, calcula-se o potencial de risco da estrutura, com base nas diretrizes gerais definidas por órgãos competentes e com base nas características da estrutura, como volume de água do reservatório e material construtivo utilizado. O potencial de risco é utilizado para determinar as ações necessárias para mantê-la segura e a frequência exigida para realizar essas ações.

De acordo com a Resolução N°143 de 10 de julho de 2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), uma barragem pode ser classificada quanto ao volume de água acumulado pelo reservatório como:

- **Pequena:** barragem cujo reservatório possui um volume inferior a cinco milhões de metros cúbicos;

- **Média:** barragem onde o reservatório possui um volume igual ou superior a cinco milhões de metros cúbicos e igual ou inferior a setenta e cinco milhões de metros cúbicos;
- **Grande:** barragem onde o reservatório possui um volume superior a setenta e cinco milhões de metros cúbicos.

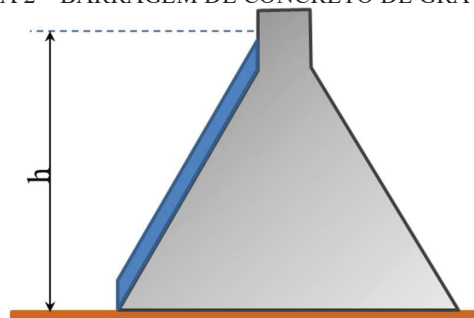
Outro meio de classificar uma barragem é quanto ao material empregado na construção (MARANGON, 2004; MARTINS, 2016):

- **Concreto:** construída a partir do produto resultante do endurecimento da mistura de agregados (areia, brita, ...), aglomerantes (cimento, pozolanas, ...) e água;
- **Terra:** estrutura composta de materiais naturais (argila, areia, ...) compactados, com baixo coeficiente de permeabilidade;
- **Enrocamento:** estrutura constituída de material granular de médio ou grande porte, onde a impermeabilização, na maior parte dos casos, é obtida por meio do uso de um núcleo impermeável (de concreto asfáltico ou argila compactada) ou de uma laje de concreto sobre o talude a montante.
- **Mista:** é constituída de diferentes materiais (concreto, terra ou enrocamento) ao longo de uma seção ou em um traçado.

As barragens de concreto, de acordo com Costa (2012, p. 25), variam quanto à forma em:

- **Barragem de gravidade:** estrutura maciça (Figura 2), constituída por vários blocos individualizados. Nesta forma de barragem de concreto, a resultante das forças atuantes é transmitida à fundação onde ela se apoia. Portanto é recomendado que a fundação da barragem seja sobre rochas com competência suficiente para resistir aos esforços atuantes.

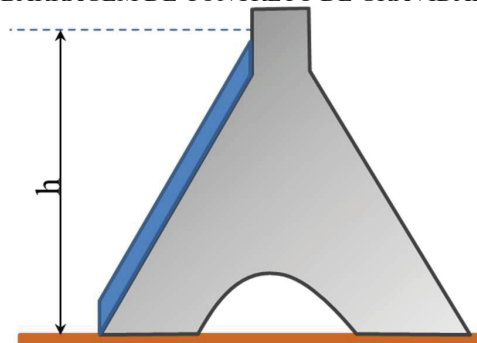
FIGURA 2 – BARRAGEM DE CONCRETO DE GRAVIDADE



FONTE: A Autora (2016).

- **Barragem de gravidade aliviada:** é uma simplificação da barragem de gravidade (Figura 3). Ela admite espaços vazios, que reduzem o volume de concreto e permite a existência de maior superfície para troca de calor. Uma das vantagens em relação à de gravidade é a diminuição das áreas sobre as quais age a subpressão e a pressão intersticial. Um dos pontos fracos desse tipo de barragem é que exige muitas juntas de vedação.

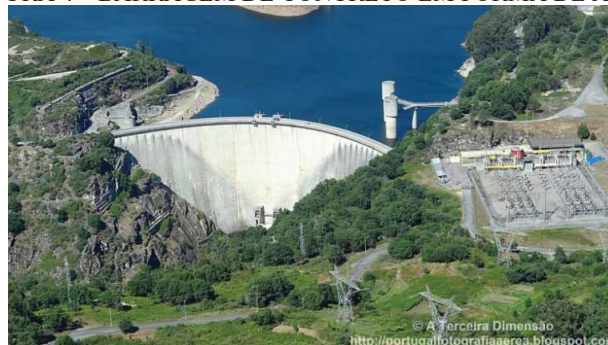
FIGURA 3 – BARRAGEM DE CONCRETO DE GRAVIDADE ALIVIADA



FONTE: A Autora (2016).

- **Barragem em forma de arco:** corresponde a uma estrutura curvada para a direção do reservatório. Sua geometria é utilizada em vales estreitos, com condições para o apoio do arco nas ombreiras, conforme exemplificado pela Figura 4. Esta forma de barragem apresenta boa resistência às cargas distribuídas sobre a face a montante e parte dos esforços são transferidos às margens ou ombreiras, enquanto que outra parte é transferida para o fundo do rio. Estas especificidades levam as barragens em forma de arco a consumir pouco concreto quando comparadas às barragens de gravidade, mas possui maior complexidade executiva e de concepção.

FIGURA 4 – BARRAGEM DE CONCRETO EM FORMA DE ARCO



FONTE: PINTO (2017).

- **Barragem tipo arco-gravidade:** estrutura que também possui forma de arco, no entanto funciona parcialmente como uma barragem de gravidade unindo os comportamentos de ambos os tipos de estrutura (Figura 5).

FIGURA 5 – BARRAGEM DE CONCRETO TIPO ARCO-GRAVIDADE



FONTE: WEST (2015).

- **Barragem em contraforte:** estrutura que contém contrafortes em forma de pilares, em geral assemelhadas à triângulos. Nessa forma de barragem de concreto, a fundação deve atender aos mesmos requisitos da barragem de gravidade, porém a construção é mais complexa e mais custosa (Figura 6).

FIGURA 6 – BARRAGEM DE CONCRETO EM CONTRAFORTE



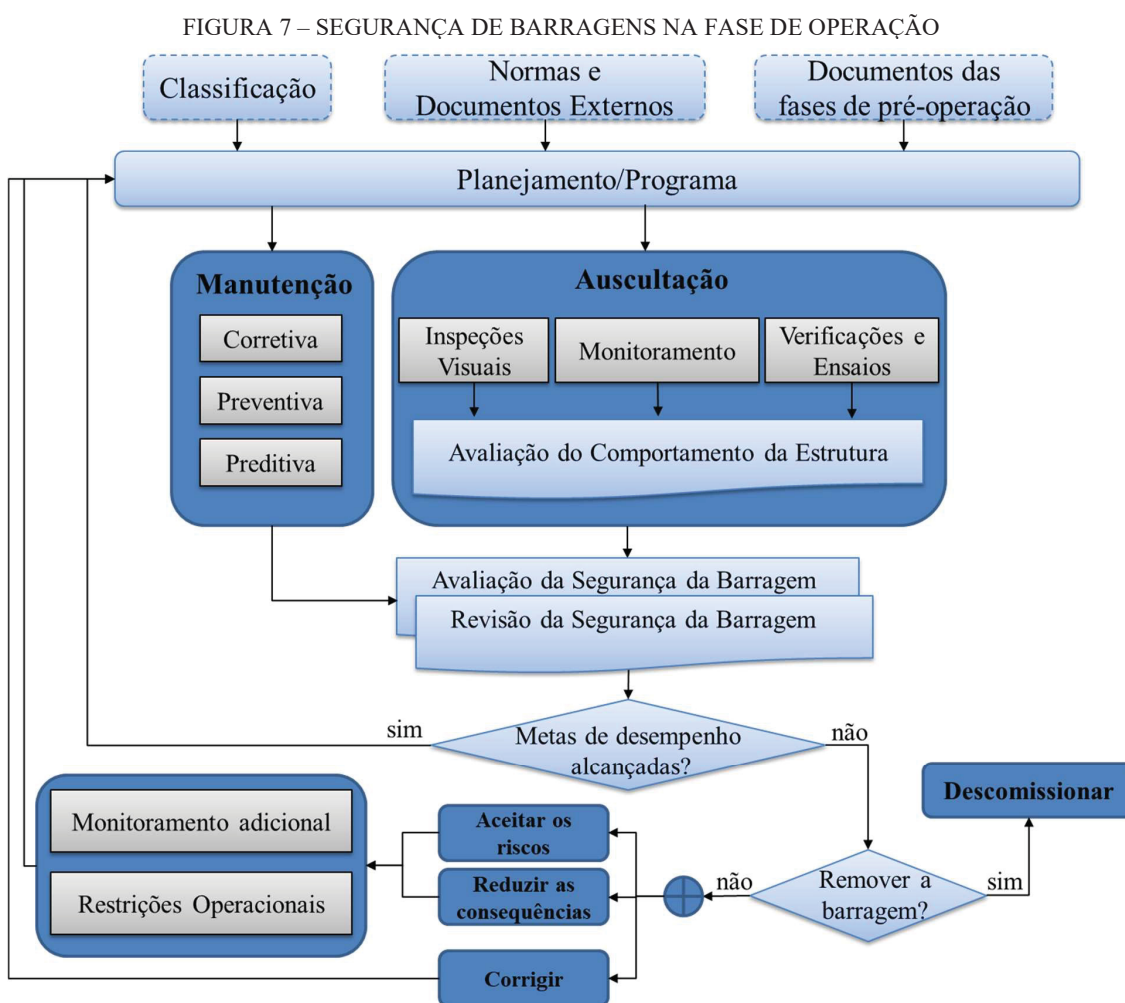
FONTE: Acervo de Itaipu.

### 2.2.1 Segurança de Barragens

A segurança de uma barragem é consequência de boas práticas. O objetivo fundamental é satisfazer as exigências de comportamento para manter a integridade estrutural

e operacional, preservar vidas, bens e o meio ambiente de efeitos nocivos que possam ser ocasionados por falhas na operação, na própria barragem ou no reservatório. (BRASIL, 2010; ICOLD, 2013).

Para atingir este objetivo, é importante o estudo de viabilidade da barragem (investigações preliminares adequadas), o desenvolvimento do projeto e a sua execução apoiada por análises e estudos. Além disso, na fase de operação da barragem, é imprescindível a realização periódica de um programa de auscultação e de manutenção, conforme mostra a Figura 7. (BRASIL, 2010; ICOLD, 2013).



FONTE: Adaptada da ICOLD (2013).

Segundo o boletim 118 da ICOLD, auscultação de uma barragem é a avaliação do comportamento, da segurança e das condições de funcionamento da barragem e do reservatório. Ainda segundo esse mesmo boletim, a avaliação é feita durante a fase de operação da barragem, considerando os resultados de inspeções visuais *in situ* (informações qualitativas), de análises

de dados obtidos por meio de instrumentação (informações quantitativas) e também dos resultados das verificações e ensaios realizados. (ICOLD, 2000).

Os resultados da auscultação norteiam, entre outras coisas, as decisões sobre a necessidade ou não de executar manutenções, a frequência das inspeções e das leituras dos instrumentos. (PIASENTIN, 2011).

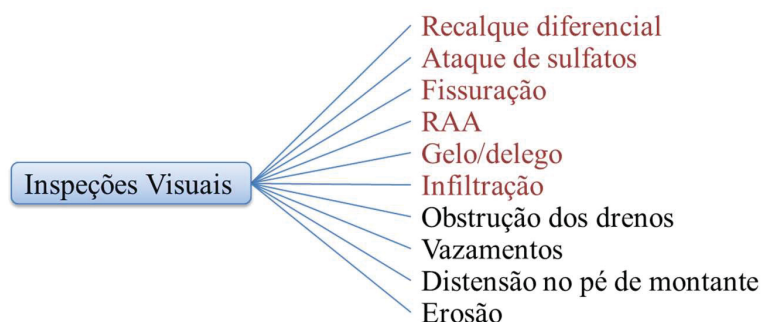
Piasentin (2011, p. 11) comenta que:

“A experiência de muitas barragens é de que fissuras, vazamentos localizados e deteriorações dos materiais são revelados somente pela observação visual durante as inspeções. Mais importante ainda é o relato que, a grande maioria dos acidentes e ruínas, o alarme do desastre incipiente foi dado pela observação de sinais externos.”

No caso de percolações, por exemplo, Piasentin (2011, p. 9) afirma que os medidores de vazão são sensíveis, mas não possuem a capacidade de identificar se a causa é devido à abertura excessiva de uma única fissura ou devido a uma pequena abertura de várias fissuras pelo efeito de retração térmica. Neste caso, somente uma inspeção visual do local pode esclarecer a dúvida e verificar se o fenômeno é normal ou perigoso, pois, se o aumento da percolação tiver sido causado pela abertura uniforme de várias fissuras, ele é inofensivo, enquanto que, se tiver sido causada pela abertura excessiva de uma única fissura, pode haver riscos significativos.

A Figura 8 apresenta algumas deteriorações possíveis de serem detectadas durante as inspeções visuais da barragem.

FIGURA 8 – DETERIORAÇÕES DETECTADAS NA INSPEÇÃO VISUAL



FONTE: Adaptada de SILVEIRA (2003).

As inspeções visuais variam de rápidas observações até investigações minuciosas. Usualmente cada país estabelece regras específicas, determinando exigências baseadas nas recomendações publicadas nos boletins da ICOLD.

De acordo com os documentos estabelecidos pelos órgãos reguladores do Brasil, as inspeções são classificadas em especiais ou regulares. (ANA, 2016a; BRASIL, 2002, 2010; ELETROBRÁS, 2003).

As inspeções especiais envolvem equipe multidisciplinar, composta por inspetores de campo, engenheiros da auscultação, engenheiros da análise de comportamento e consultores externos (quando necessário). Elas são realizadas após a ocorrência de deficiências severas e eventos potencialmente danosos como terremotos, enchentes, entre outros. Além da sua realização nas ocasiões citadas, são conduzidas antes do início e após a conclusão do primeiro enchimento, e também a cada cinco ou dez anos, dependendo do risco potencial e do fator de segurança. O principal objetivo das inspeções especiais é realizar uma revisão minuciosa da segurança da barragem. Elas geram relatórios contendo recomendações para a melhoria contínua das condições de segurança e de operação. (ELETROBRÁS, 2003).

As inspeções regulares podem ser de dois tipos: de rotina (informais) ou periódicas (formais). As inspeções de rotina geralmente são inspeções realizadas pela equipe de inspetores de campo, normalmente sob gerência de engenheiros da auscultação. Elas acontecem durante a ida ao campo para realizar as medições dos instrumentos instalados. (BRASIL, 2002; ELETROBRÁS, 2003). O principal objetivo das inspeções de rotina é detectar precocemente anomalias e agir rapidamente. Não são gerados relatórios nestas inspeções, somente comunicado entre inspetores e os engenheiros da auscultação. Como as inspeções de rotina ocorrem junto com a leitura dos instrumentos, a frequência destas inspeções varia de semanal a mensal. (ELETROBRÁS, 2003). Atualmente a lei nº. 12334 (BRASIL, 2010) e a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016a) exigem relatórios para todas as inspeções realizadas.

As inspeções periódicas podem ser conduzidas pela equipe de profissionais local (inspetores de campo, engenheiros da auscultação e engenheiros da análise de comportamento) ou por terceiros (consultores externos) e devem acontecer numa periodicidade determinada em função da categoria de risco e do dano potencial oferecido pela barragem, variam normalmente de semestral a anual. Para a realização desta inspeção é importante que sejam analisados os documentos e relatórios anteriores. O resultado dessas inspeções é compilado em relatórios em que constam a lista de verificações, e resultado da avaliação das anomalias encontradas, comparação com as inspeções anteriores, fotos, registro em desenhos, gráficos documentando as observações e recomendações a serem atendidas (BRASIL, 2002; ELETROBRÁS, 2003).

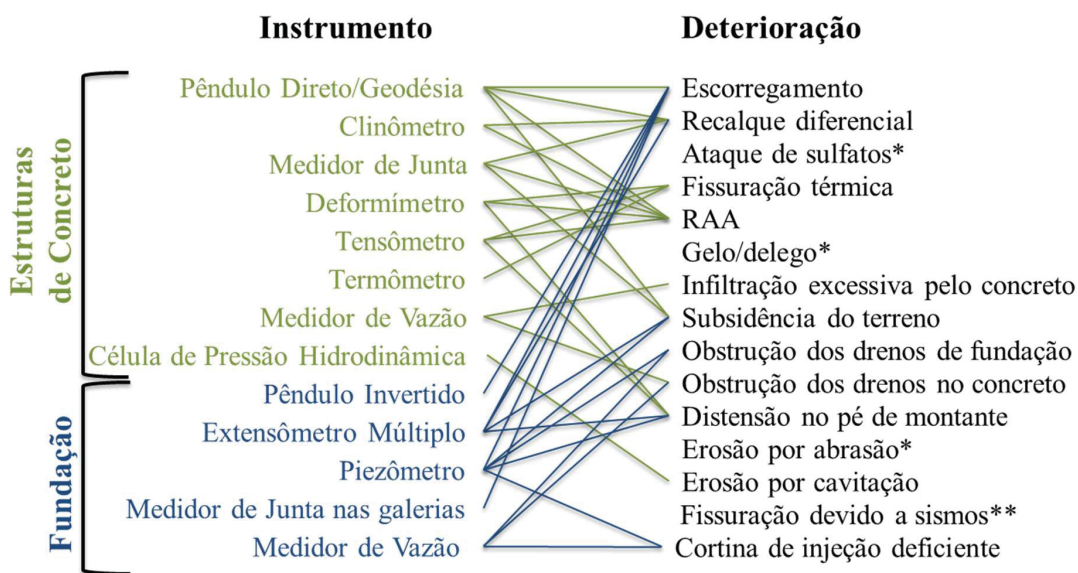
O monitoramento da barragem é tão importante quanto realizar inspeções visuais. Por meio dos instrumentos, as intercorrências internas, imperceptíveis aos olhos humanos, que oferecem riscos à integridade da estrutura são percebidas.

O Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002, p.14) determina que:

Toda barragem deve ser instrumentada de acordo com seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente com a realização das leituras. Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites. (BRASIL, 2002, p. 14)

A Figura 9 apresenta algumas das grandezas monitoradas nas barragens de concreto e a sua correlação com instrumentos normalmente instalados.

FIGURA 9 – CORRELAÇÃO DOS TIPOS DE INSTRUMENTOS E DETERIORAÇÕES EM BARRAGENS DE CONCRETO



\* Identificado(a) através das inspeções visuais

\*\* Identificado(a) através de inspeções visuais ou sismógrafo/Acelerômetro

FONTE: Adaptada de SILVEIRA (2003).

Para manter a segurança de uma barragem, além da auscultação, é importante realizar manutenções, visando conservar e assegurar que a estrutura cumpra as funções para as quais foi projetada. Elas podem ser divididas em preditivas, preventivas ou corretivas. (KUPERMAN, 2011).

As manutenções preditivas buscam evitar a ocorrência de falhas. Elas se baseiam na predição de anomalias por meio da análise dos resultados da auscultação. Já as manutenções preventivas são para evitar possíveis problemas decorrentes da deterioração e da falta de manutenções periódicas.

Essas manutenções são programadas e obedecem a critérios técnicos e administrativos que são baseados em dados estatísticos ou histórico das manutenções já realizadas. (KUPERMAN, 2011).

Por fim, as manutenções corretivas reparam falhas. Quando uma deficiência é identificada, investigam-se suas causas e alternativas de reparação. (KUPERMAN, 2011).

A realização periódica da auscultação e das manutenções na barragem é coordenada por métodos de gestão que buscam assegurar o controle dos riscos oferecidos pela estrutura. Ela envolve equipe multidisciplinar sendo que o Boletim 154 da ICOLD recomenda o uso da matriz RACI – *Responsible, Accountable, Consulted e Informed* para explicitar os papéis dos membros desta equipe.

Ainda o mesmo boletim 154 da ICOLD (2013) afirma que a gestão da segurança da barragem deve ser realizada de forma integrada e que as práticas devem ser alinhadas aos objetivos. A seguir esse tema é abordado.

### 2.2.2 Gestão da Segurança de Barragens

Gestão, de um modo geral, é definida como um método, formalmente organizado, pelo qual as atividades de uma organização são realizadas e a integridade assegurada. Ela estabelece uma maneira consistente para transformar os valores, princípios, políticas e os procedimentos da organização em produtos ou atividades. (ICOLD, 2013).

Para a gestão da segurança de barragens, o Boletim 154 da ICOLD (2013) recomenda a utilização de processos sistemáticos e abrangentes de modo que garantam que os riscos impostos pela estrutura sejam devidamente gerenciados. O mesmo boletim recomenda que os aspectos da gestão da segurança da barragem sejam integrados com a estrutura de gestão da organização. Ele sugere também, a adoção de métodos cíclicos conforme apresentado na Figura 10 e descrito a seguir:

- **Políticas e Objetivos:** Conjunto de documentos<sup>2</sup> que definem os compromissos, os valores, a missão, as prioridades, as metas e os objetivos que precisam estar em conformidade com a política e ainda ser mensuráveis, permitindo que a política seja convertida em procedimentos e instruções e as diretivas convertidas

---

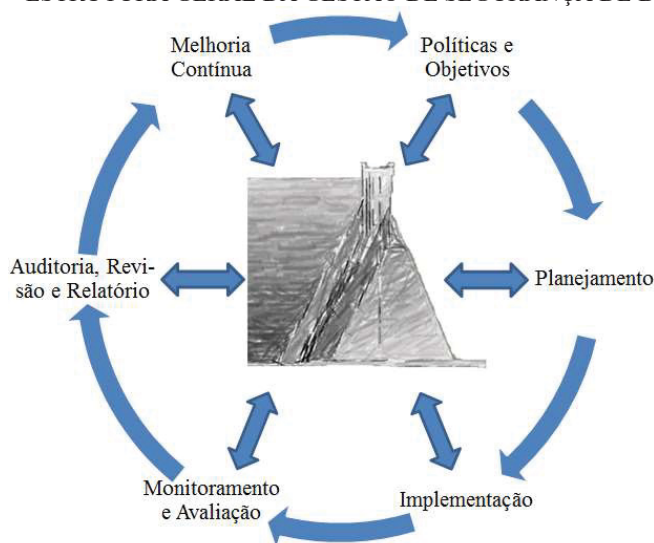
<sup>2</sup> Documentos que normalmente referenciam leis, normas e regulamentos aplicáveis à segurança de barragens.

para as atividades dos processos da segurança da barragem. Neste elemento também são definidas formas para buscar melhoria contínua. (ICOLD, 2013).

- **Planejamento:** Conjunto de documentos de planejamento. Para organizar de maneira clara o que é estabelecido em *Políticas e Objetivos*, é feito o *Planejamento*. O *Planejamento*, de forma geral, é composto por:
  - Estrutura organizacional (identificação das funções);
  - Estrutura operacional (repartição de tarefas e atividades, responsabilidades);
  - Manual operacional (definição dos procedimentos das tarefas e atividades);
  - Organização e priorização;
  - Recursos (financeiros, materiais, equipamentos e humanos);
  - Metas e medidas de desempenho;
  - Modelos de documentos e relatórios;
  - Plano de contingência;
  - Plano e cronograma dos processos e atividades;
  - Plano de ações de emergência;
  - Plano de revisão da segurança.
- **Implementação:** Execução das atividades planejadas respeitando a estrutura geral de gestão e os procedimentos definidos para executar as atividades e então alcançar os objetivos.
- **Monitoramento e Avaliação:** Execução de medições, análises e avaliações da segurança da barragem, do método de gestão, da eficácia dos processos, atividades e tarefas realizadas para alcançar os objetivos definidos. Os resultados são usados para determinar o desempenho da segurança da barragem em relação ao planejamento e também para identificar medidas corretivas.
- **Auditoria, Revisão e Relatório:** Realiza-se a revisão sistemática do desempenho com base nas informações obtidas no *Monitoramento e Avaliação* e também com base em dados adicionais fornecidos por auditorias externas em relação a sua capacidade de alcançar os objetivos definidos e até mesmo com relação às práticas utilizadas em outras organizações. Como resultado, os problemas e as oportunidades de melhoria são identificados.

- **Melhoria Contínua:** Os resultados do *Monitoramento e Avaliação*, em conjunto com os resultados da *Auditoria, Revisão e Relatórios*, são utilizados para embasar recomendações. Os problemas detectados são avaliados e as causas de ineficiências e deficiências apontadas para embasar recomendações de melhoria. Estas recomendações são estudadas, justificadas e registradas e quando aceitas, são incorporadas pela organização. (ICOLD, 2013).

FIGURA 10 – ESTRUTURA GERAL DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS



FONTE: Adaptada da ICOLD (2013).

O DSC (*Dam Safety Committee*) da NSW (*New South Wales*) da Austrália (2010) define diretrizes para gestão da segurança de uma barragem e afirma que o principal objetivo é fazer com que os riscos da barragem falhar sejam toleráveis pela comunidade.

A FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), agência dos Estados Unidos (2004), reforçam que as diretrizes para gestão da segurança de barragens visam assegurar que sejam estabelecidos mecanismos efetivos ligados as incertezas de modo que a estrutura permaneça equilibrada segundo julgamento técnico competente e considerando as tecnologias disponíveis no momento. (FEMA, 2004).

Segundo o boletim 154 da ICOLD (2013), a formalização de uma estrutura para a gestão da segurança da barragem é alcançada por meio do desenvolvimento e da implementação das políticas, procedimentos, diretivas e instruções, documentadas de forma a estabelecer as ligações lógicas e funcionais entre si e aos riscos impostos pela estrutura.

Um sistema de gestão da segurança de barragens deve atender ao controle e a gestão dos documentos e dos dados relacionados a gestão de riscos da barragem, garantindo o

armazenamento e a manutenção destes registros. Ele precisa também oferecer meios para o acesso aos registros e documentos, a partir de vários locais, levando em consideração os casos de emergência. (ICOLD, 2013).

Embora seja esperado que o sistema de gestão da segurança de barragens em uma organização seja único, com os dados consistentes e integrados, a realidade normalmente difere do ideal.

A gestão integrada possui diversas vantagens: melhora o desempenho global da organização, proporciona o aumento da segurança e da eficiência, reduz esforços e custos, melhora significativamente o uso e a coleta das informações e melhora também o processo de comunicação. (ICOLD, 2013; JEON et al., 2009; MARTAC et al., 2016). Para isso é preciso o emprego de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs).

O uso de TIC na gestão de barragens oferece suporte às atividades operacionais e apoio à tomada de decisões e estratégias da organização. (JEON et al., 2009). Para isso a informação da barragem precisa estar prontamente acessível.

A gestão da segurança da barragem quando feita de modo integrado acarreta mudanças na forma como a organização é gerenciada, inclusive nos processos e na cultura organizacional já que as rotinas se tornam inter-relacionadas. (FEMA, 2004; ICOLD, 2013; JEON et al., 2009).

### 2.2.3 Fissuras em Barragens de Concreto

Ao longo do tempo, as propriedades físicas e químicas do concreto se alteram em função das características dos seus constituintes e também em função das respostas dos mesmos a agentes agressivos do meio. Quando a atuação destes agentes ocorre numa intensidade maior que a resistência da estrutura a eles, surgem manifestações patológicas como fissuras. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Fissuras são comuns em barragens de concreto. Elas resultam da separação da estrutura em duas ou mais seções. (ICOLD, 1997, p. 65).

As fissuras podem ser classificadas quanto a sua aparência em vertical (Figura 11), horizontal (Figura 12), diagonal ou do tipo mapa (Figura 13), representando os tipos de fissuras que podem ser visualizadas em barragens de concreto.

FIGURA 11 – FISSURA DO TIPO VERTICAL



FONTE: SBB ENGENHARIA<sup>3</sup> citado por ANA (ANA, 2016b).

FIGURA 12 – FISSURA DO TIPO HORIZONTAL



FONTE: Acervo particular de ITAIPU.

FIGURA 13 – FISSURA TIPO MAPA



FONTE: SBB ENGENHARIA<sup>4</sup> citado por ANA (ANA, 2016b).

---

<sup>3</sup> SBB ENGENHARIA: Fissura subvertical de origem térmica no paramento de jusante de uma barragem tipo gravidade.

<sup>4</sup> SBB ENGENHARIA: Fissura tipo mapa provocada pela RAA - Reatividade Álcali-Agregado, na parede interna de uma eclusa.

As manifestações patológicas do concreto podem ser de causas extrínsecas (atuação de agentes externos), ocorrendo de fora para dentro ou de causas intrínsecas (inicia de dentro para fora por agentes inerentes à própria estrutura). (SOUZA; RIPPER, 1998).

As variações de temperatura diárias que atingem uma área superficial da estrutura, não impõem alterações significativas de deslocamentos e, portanto, dão origem a fissuras superficiais, que não afetam as condições de segurança das estruturas. Por outro lado, o desenvolvimento de fissuras associadas a deficiências do projeto ou da construção, ou mesmo do envelhecimento das estruturas, que em regra geral, afetam as condições de funcionamento da estrutura, são críticas e podem dar origem a surgências e afetar as condições de segurança da barragem. (ANA, 2016b).

Fiorini afirma na reportagem de ITAIPU – JIE (2009, p. 2) que:

A ocorrência de fissura é normal em qualquer grande obra de concreto. Elas surgem principalmente em decorrência da variabilidade das condições térmicas e das retrações e pressões sobre a estrutura, [...].

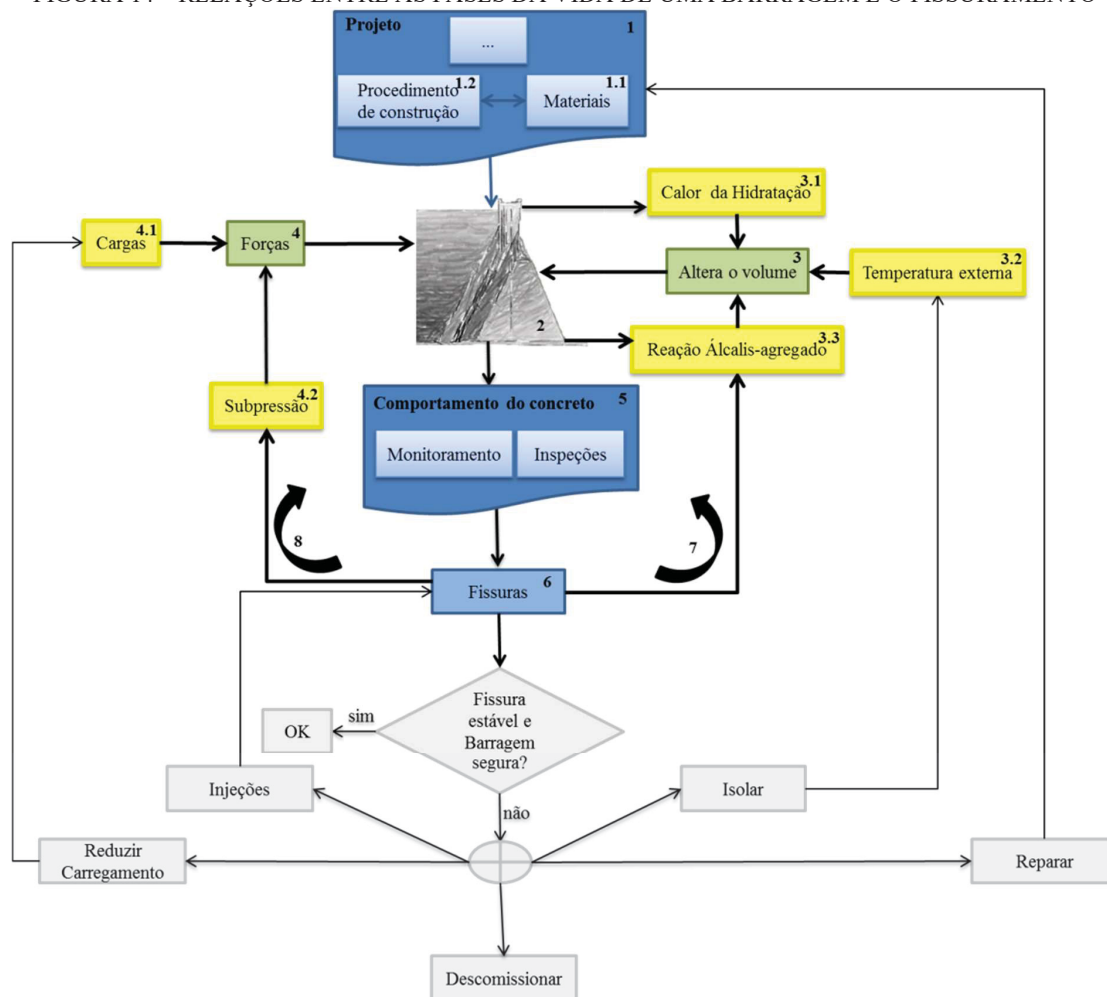
Embora as fissuras sejam manifestações patológicas comuns em barragens de concreto, elas podem oferecer riscos à segurança da estrutura ou facilitar o desenvolvimento de outros tipos de deteriorações, como Reações Álcali-Agregado (RAA) (Figura 14 – 3.3) que altera o volume do concreto ou podem alterar a subpressão (Figura 14 – 4.2) e aumentar os esforços agindo na barragem. Desse modo recomenda-se que as fissuras sejam evitadas. (ICOLD, 1997; KUPERMAN, 2011; PELACANI, 2010).

Na fase de projeto de uma barragem, o potencial para fissurar pode ser minimizado por meio das especificações técnicas, escolha de materiais, projeto e métodos construtivos adequados à realidade do contexto onde a barragem será construída. (ICOLD, 1997).

Durante a construção e também no período de operação da barragem, alguns fenômenos podem causar fissuras mesmo que sejam seguidas todas as especificações definidas no projeto.

Na fase de projeto (Figura 14 – 1), são tomadas decisões a respeito dos materiais a serem utilizados (Figura 14 – 1.1), dos procedimentos de construção (Figura 14 – 1.2) e outros. Estes aspectos interagem um com o outro definindo o projeto da barragem (Figura 14 – 1) que quando executado resulta na barragem (Figura 14 – 2). (ICOLD, 1997).

FIGURA 14 – RELAÇÕES ENTRE AS FASES DA VIDA DE UMA BARRAGEM E O FISSURAMENTO



FONTE: Adaptada da ICOLD (1997).

Durante a construção, o calor da hidratação do cimento (Figura 14 – 3.1) afeta as condições térmicas internas e produz mudanças de volume (Figura 14 – 3) que podem causar fissuras. Mesmo na fase de operação da barragem a variação do volume do concreto (Figura 14 - 3) e os esforços (Figura 14 - 4) agindo na estrutura podem causar fissuras. A temperatura externa do ambiente também pode influenciar nas condições térmicas e causar fissuras (Figura 14 – 3.2), assim como cargas externas (volume de água do reservatório) (Figura 14 – 4.1) geram esforços que agem na barragem. Essas situações formam ciclos de instabilidade (Figura 14 – 7 e Figura 14 – 8) que podem causar outras fissuras. (ICOLD, 1997).

Mesmo buscando evitá-las, é praticamente impossível uma estrutura de concreto sem fissuração. Desse modo, é importante identificá-las, classificá-las e acompanhar o seu comportamento e desenvolvimento.

As fissuras podem ser classificadas em quatro tipos, quando considerando a medida da sua abertura ( $e$ ), conforme mostra o Quadro 1.

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS QUANTO À ABERTURA EM BARRAGENS DE CONCRETO.

TIPO	ABERTURA	DESIGNAÇÃO
I	$e \leq 0.2$	Fissura capilar
II	$0.2 \leq e \leq 1.0$	Fissura pequena
III	$1.0 \leq e \leq 5.0$	Fissura significativa (trinca)
IV	$e \geq 5.0$	Fissura pronunciada (rachadura)

FONTE: Adaptada de ANA (2016b).

#### 2.2.4 Auscultação de Fissuras

A análise do comportamento do concreto é normalmente realizada por engenheiros especialistas (Figura 14 - 5), apoiada pelo programa<sup>5</sup> de auscultação. O programa de auscultação fornece subsídios para a investigação da relação entre fissuras e outros eventos da barragem respaldando recomendações e decisões (Figura 14 - 6). (ICOLD, 1997).

A presença de fissuras na estrutura pode ser percebida durante a realização de inspeções visuais (especiais, periódicas ou de rotina); no entanto para entender o mecanismo causador e os riscos que uma fissura oferece à segurança, é necessário o seu mapeamento.

Conforme estabelecido no boletim 107 da ICOLD, “[...], é fundamental pesquisar a estrutura e conduzir o mapeamento completo das fissuras de modo que o tipo e a extensão da fissura possam ser avaliados.”. (ICOLD, 1997, p.75).

O mapeamento das fissuras envolve equipe multidisciplinar e consiste na observação minuciosa e exaustiva das superfícies, com objetivo de identificar visualmente as fissuras, registrar a sua forma e a sua localização relativa, de acordo com alguma convenção estabelecida pela organização. Além disso, é importante fotografar e caracterizar (medir a abertura, comprimento e profundidade e registrar sua aparência e direção) as fissuras, a fim de construir o registro permanente da fissura sobre a sua evolução no tempo e gerar condições de determinar a sua causa e a idade. (ICOLD, 1997). A identificação das fissuras e a coleta das suas características normalmente são conduzidas por inspetores de campo, programadas por engenheiros especialistas.

A cada novo mapeamento realizado, coleta-se um novo conjunto de dados individuais sobre as fissuras. As fissuras normalmente são classificadas com base no seu comprimento, abertura, vão e, em certos casos, nos componentes químicos da água percolada.

---

<sup>5</sup> Programa: processo estabelecido pela organização para realizar a atividade.

Embora a detecção de fissuras possa ocorrer em qualquer tipo de inspeção (de rotina, periódica ou especial), ela costuma ocorrer somente nas especiais, onde o mapeamento é recomendado e realizado por meio da inspeção visual voltada exclusivamente para identificar as fissuras e investigar suas causas.

Apesar de a caracterização e a investigação das causas de uma fissura ser realizada comumente nas inspeções especiais, pode ser feita também nas inspeções periódicas nas seguintes condições:

- Alguma nova fissura é identificada durante a realização de inspeções visuais que se destinam a detectar anomalias (inspeções periódicas), inclusive fissuras. Caso a fissura represente algum risco potencial, ela é caracterizada e investigada.
- Quando há interesse em averiguar o comportamento de fissuras específicas, devido aos riscos oferecidos por elas.

Quando uma fissura é identificada, já faz algum tempo que ela ocorreu. Fazer apontamentos e estimativas da causa e da idade do fissuramento não é uma tarefa simples, mas é importante para guiar a tomada de decisões. A aparência da fissura e a sua localização oferecem indícios para que o engenheiro da auscultação possa apontar as possíveis causas, que por sua vez ajuda a estimar a idade. (ICOLD, 1997). É evidente que quanto mais frequente realiza-se os mapeamentos, maior é a precisão da estimativa da idade da fissura (ICOLD, 1997).

Todos os dados e as informações coletadas nos mapeamentos são armazenados constantemente, possibilitando verificar a evolução individual de cada fissura ao longo do tempo, assim como de um conjunto de fissuras. O mapeamento das fissuras é parte das inspeções especiais, que reavalia a segurança da barragem de forma sistemática e pormenorizada. O resultado do mapeamento compõe relatórios internos e outros de âmbito global exigidos por órgãos normativos do setor. Eles apresentam a condição atual e a análise do comportamento das fissuras ao longo do tempo. (ICOLD, 1997).

Embora sejam bem definidas as entradas e as saídas do mapeamento, existem várias formas para realizá-lo, sendo estabelecido pela organização considerando, entre outras coisas, o porte da barragem (pequena, média ou grande) e o nível de tecnologia empregado no contexto (usa-se sistemas de informação locais? possuem mobilidade? Adota-se alguma técnica computacional para auxiliar ou automatizar partes específicas do mapeamento?). As tecnologias empregadas interferem diretamente na eficiência e também na eficácia da realização do mapeamento.

Os dados e as informações coletadas no mapeamento são mantidos para construir o registro histórico da evolução de cada fissura. O resultado do mapeamento compõe relatórios

internos e/ou de âmbito global, exigidos por órgãos normativos do setor. Eles apresentam a condição atual e avaliam o comportamento das fissuras por meio da comparação com resultados anteriores, que embasam recomendações e/ou decisões a respeito de manutenções e instalação de instrumentos para monitorar minuciosamente o comportamento das fissuras ativas<sup>6</sup> (ICOLD, 1997). Além disso o mapeamento é parte da informação necessária para conclusões sobre a segurança oferecida pela estrutura.

### 2.3 REALIDADE AUMENTADA

A Realidade Aumentada permite ao usuário ver o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos. Essa tecnologia complementa a realidade em vez de substituí-la completamente, como na Realidade Virtual. Desse modo, o usuário tem a sensação de que os objetos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço. (AZUMA, 1997).

Os mesmos pesquisadores definem Realidade Aumentada como uma tecnologia que possui os seguintes requisitos essenciais (AZUMA et al., 2001):

- Combina conteúdo virtual e real.
- É interativo em tempo real.
- É registrado em três dimensões (3D).

Essa definição clássica de Realidade Aumentada não impõe limitações quanto aos recursos tecnológicos utilizados, mas fica evidente que para atender aos requisitos essenciais requer:

- **Técnica de Rastreamento:** para identificar a posição ou orientação relativa do mundo real onde a informação virtual é integrada.
- **Método de Interação:** para o usuário manipular os objetos virtuais e os objetos virtuais e reais interagirem em tempo real.
- **Método de Visualização:** para o usuário perceber o resultado da combinação das informações reais e virtuais.

Billinghurst, Clarck e Lee (2015) afirmam que a Realidade Aumentada compreende o esforço para tornar as interfaces computacionais tão naturais ao ponto de serem invisíveis. Ela é capaz de proporcionar experiências avançadas e naturais de interação, principalmente de

---

<sup>6</sup> Fissura com comportamento ativo diz respeito às fissuras que apresentam variações das suas características de abertura e/ou comprimento ao longo do tempo (<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-se-originam-quais-os-tipos-285488-1.aspx>).

visualização de modo que amplia a percepção do usuário quanto aos detalhes sutis ou até imperceptíveis do ambiente real.

Em síntese, a Realidade Aumentada proporciona as seguintes vantagens:

- **Aumenta a percepção:** os sentidos humanos são melhorados por meio da integração do conteúdo virtual ao ambiente real, de forma contextualizada.
- **Oferece meios avançados de interação:** a Realidade Aumentada enriquece o ambiente real com conteúdo virtual que possibilitam formas diferenciadas e naturais de interação do sistema com o usuário (recuperação de informação contextualizada), do usuário com o sistema (manipulação do conteúdo virtual no ambiente real em tempo real) e também do ambiente com o sistema (captura de informações do ambiente, contextualizadas).

O desenvolvimento de sistemas de Realidade Aumentada é um desafio por vários aspectos. É evidente que a grande contribuição está no âmbito da interação. Portanto o projeto de sistemas é imprescindível o uso da abordagem centrada no usuário, conhecida também como projeto de Interação Humano-Computador (IHC), descrita na seção 2.3.4.

Os sistemas de Realidade Aumentada, assim como qualquer outro, possuem componentes de hardware e de software.

Dispositivos de entrada, visualizadores, processadores e dispositivos de rede são componentes de hardware que normalmente compõem um sistema de Realidade Aumentada; enquanto que os componentes de software se dividem em dois tipos: softwares para o desenvolvimento do sistema e softwares de suporte ao sistema em tempo real. (KIRNER; TORI, 2006).

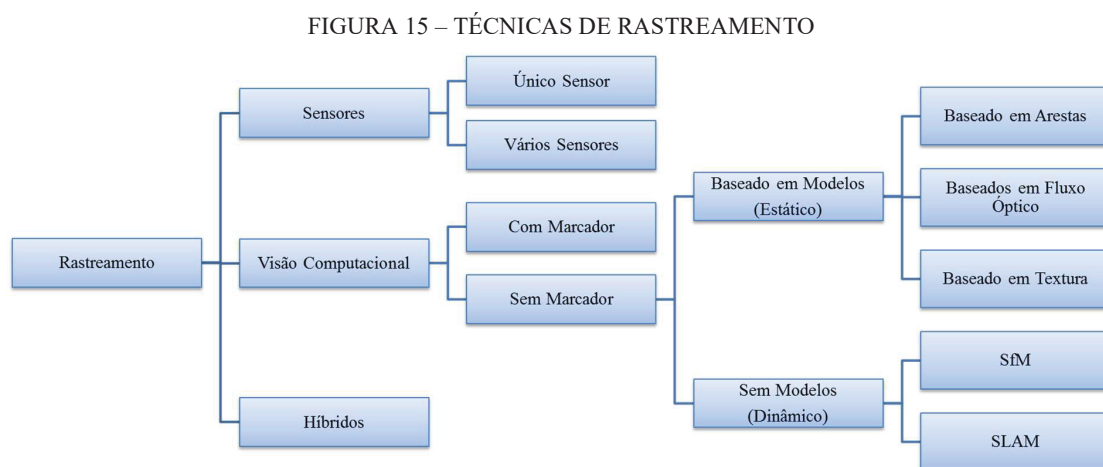
Os softwares para o desenvolvimento do sistema, conhecidos como software de autoria, são utilizados para gerar conteúdo ou objetos virtuais, associá-los ao mundo real (calibrar) e também definir comportamentos. Os softwares de suporte ao sistema em tempo real são aqueles que durante a utilização do sistema fazem o rastreamento dos pontos de interesse do ambiente real para ajustar os conteúdos virtuais e também aqueles que permitem interações do usuário. (KIRNER; TORI, 2006).

Existem muitas alternativas de hardwares e também de softwares, possíveis de atenderem às necessidades de um sistema de Realidade Aumentada. A escolha dos recursos é

subjetiva, porém precisa ser de modo que proporcione uma boa usabilidade<sup>7</sup> do sistema e atenda aos requisitos funcionais e não funcionais identificados no projeto do sistema.

### 2.3.1 Técnica de Rastreamento

A adoção de alguma técnica de rastreamento é essencial para um sistema de Realidade Aumentada. Ela é responsável por determinar a posição e a localização relativa dos objetos onde as informações virtuais são combinadas no ambiente real. As técnicas de rastreamento se dividem em três classes como mostra a Figura 15.



FONTE: Adaptada de ROBERTO; LIMA; TEICHRIEB (2016); SACASHIMA (2011).

Embora todas as técnicas sejam baseadas em sensores, as que utilizam sensores óticos, formam uma classe distinta chamada de Visão Computacional. A classe nomeada de Sensores abrange as técnicas de rastreamento que utilizam um ou mais dos demais tipos de sensores. Já a classe identificada por Híbrido combina sensores com técnicas de rastreamento de visão computacional.

Na técnica identificada por Visão Computacional, a câmera de vídeo faz a aquisição das imagens do ambiente real e utilizando algoritmos de visão computacional são extraídas informações (posição ou orientação) relativas a objetos do ambiente real. Os algoritmos de visão computacional podem fazer uso de marcadores artificiais ou não.

Quando o algoritmo não utiliza marcadores artificiais, ele extrai características naturais do ambiente ou do objeto como arestas, vértices, contorno, entre outras informações,

<sup>7</sup> Usabilidade é a facilidade de uso e a aceitabilidade de um sistema para um grupo de usuários realizando tarefas específicas em um ambiente específico. (HOLZINGER, 2005).

que auxiliam no cálculo da posição ou orientação relativa. Já os algoritmos que utilizam marcadores artificiais, calculam a posição ou orientação a partir de algum Código de Resposta Rápida (QR *code*) ou marcador fiducial (Figura 16) fixado no ambiente preparado.

FIGURA 16 – MARCADOR FIDUCIAL



FONTE: RUAN E JEONG (2012).

As técnicas que utilizam características naturais podem ser baseadas em modelos estáticos ou dinâmicos. As técnicas baseadas em modelos estáticos exigem o conhecimento prévio da cena que não muda durante o rastreamento. Elas computam a posição ou orientação relativa. As técnicas baseadas em modelos dinâmicos podem usar um modelo inicial de entrada ou então construir um para calcular a posição ou orientação relativa. Nesse caso, as informações do ambiente são atualizadas dinamicamente durante o cálculo da posição ou orientação.

Os sensores utilizados pelas técnicas de rastreamento identificadas como Sensores podem ser do tipo magnético, acústico ou inercial.

As técnicas de rastreamento Híbrido são ideais principalmente para sistemas de uso externo. (RABBI; ULLAH, 2013). Elas exploram as vantagens de cada técnica usada buscando uma suprir as limitações da outra. Deste modo geram resultados satisfatórios. Inclusive Azuma (1999) afirmou que no caso de ambientes externos uma única tecnologia, raramente proporciona uma solução adequada.

Embora as técnicas híbridas sejam mais promitentes para ambientes externos, é importante ressaltar que são também mais custosas computacionalmente, prejudicando o requisito “tempo real”, essencial em aplicações de Realidade Aumentada. (RABBI; ULLAH, 2013).

De maneira geral, as técnicas de rastreamento da classe Visão Computacional são adotadas para ambientes internos e controlados onde a iluminação é estável e a dimensão do ambiente é definida. Esses ambientes controlados fornecem maior robustez à técnica de rastreamento, sendo fácil obter as informações para o rastreamento preciso.

Apesar das técnicas da classe Visão Computacional serem mais indicadas para ambientes internos, nada impede que a abordagem seja adotada para ambientes externos. Porém, algumas dificuldades podem surgir, com causas diversas, como liberdade de comportamento do usuário no ambiente, oscilação na iluminação decorrente do período (manhã, tarde ou noite) e do clima (chuvoso ensolarado ou nublado) do dia.

É evidente que escolher uma técnica de rastreamento que atenda às necessidades de um sistema é complexo, sendo um dos grandes desafios, senão o maior nos sistemas de Realidade Aumentada.

O Quadro 2 destaca as vantagens e desvantagens das tecnologias utilizadas pelas técnicas de rastreamento. Cada tecnologia possui características que as tornam mais ou menos apropriadas a um contexto.

### 2.3.2 Mecanismo de Visualização

Os dispositivos de entrada e de saída são fundamentais para sistemas computacionais; inclusive para os sistemas de Realidade Aumentada.

Interação para sistemas de Realidade Aumentada é entendida como uma ação ou uma comunicação ocorrida entre o usuário, o sistema ou o ambiente. (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2006). Conceitualmente interação é um termo mais amplo do que interface, pois interface corresponde ao aparato utilizado para que ocorra a interação. (SANTIAGO *et al.*, 2010).

A qualidade da interface e os meios pelos quais o usuário pode interagir com o sistema influenciam fortemente na qualidade do sistema para o usuário.

QUADRO 2 – CARACTERÍSTICAS DAS TÉCNICAS DE RASTREAMENTO

TECNOLOGIA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Magnético	Não sofre interferência de oclusão e nem acústica. Receptores são pequenos e discretos. Sensores são populares e baratos. São precisos para pequenas distâncias.	Sofre interferência de materiais metálicos. A precisão depende da distância entre os transmissores e os receptores. São menos indicados às aplicações em tempo real e em ambientes abertos. Alcance limitado.
Acústico	Não cria campo eletromagnético. Barato. Possui boa precisão, capacidade de resposta, robustez e registro. Suporta distância maior que o magnético.	Alcance limitado. Sofre interferência acústica, de umidade, pressão e de temperatura. É restrito quanto ao campo de visão. Latência proporcional à distância.
Inercial	Não requer emissor. Não é afetado por campos magnéticos externos e nem materiais. Sensores pequenos e discretos.	Necessidade de calibração. Instabilidade quanto à linearidade.
GPS	Atualmente é o mais indicado para ambientes externos.	Não é recomendado para ambientes internos. Precisão relativamente baixa.
Vários Sensores	Depende dos sensores combinados.	Depende dos sensores combinados.
Com Marcador	Alta precisão	Modifica o ambiente (inserção de marcadores no ambiente) Sofre interferência de oclusão. Sofre interferência de iluminação. Alcance limitado.
Baseado em Arestas	Não necessita modificar o ambiente.	Sofre interferência de oclusão.
Baseado em Fluxo Óptico	Não necessita modificar o ambiente. Baixo custo computacional.	Acumulam erros. Sofre interferência de variação de iluminação. Sofre interferência de grandes deslocamentos no ambiente ou de deslocamentos bruscos.
Baseado em Texturas	Não necessita modificar o ambiente.	Sofre interferência de iluminação. Alcance limitado.
SfM	Não necessita modificar o ambiente.	Alto custo computacional.
SLAM	Não necessita modificar o ambiente.	Alto custo computacional.
Híbrido	Estável. Não necessita modificar o ambiente.	Depende dos sensores usados.

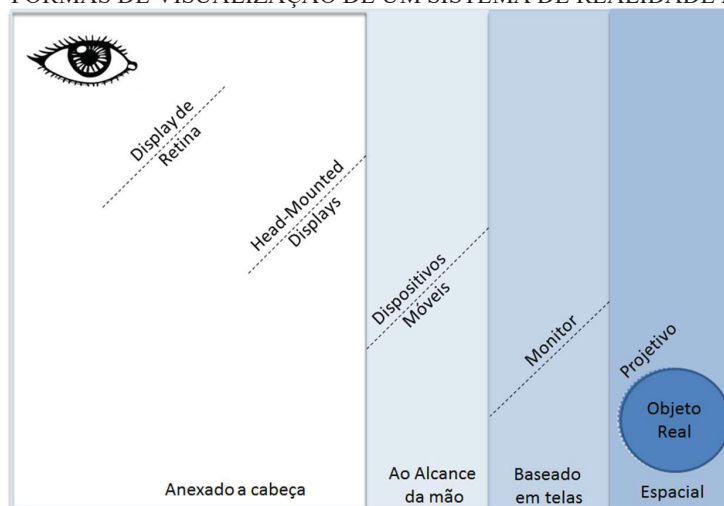
FONTE: Adaptado de WANG (2009).

A interação ocorre por meio de dispositivos de entrada e saída. Visualizadores são dispositivos de saída com função de proporcionar meios para que o usuário perceba o aumento da realidade.

Os dispositivos de visualização usam componentes óticos, eletrônicos e mecânicos para apresentar imagens. Eles são classificados, quanto à sua mobilidade, como móveis ou fixos. (BIMBER; RASKAR, 2004).

Roberto e Teichrieb (2012) classificam ainda os visualizadores de acordo com a localização em relação ao usuário em quatro tipos: visualizadores localizados na cabeça, ao alcance das mãos, baseados em telas e espaciais, conforme apresentado na Figura 17.

FIGURA 17 – FORMAS DE VISUALIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA



FONTE: Adaptada de ROBERTO; TEICHREIEB (2012).

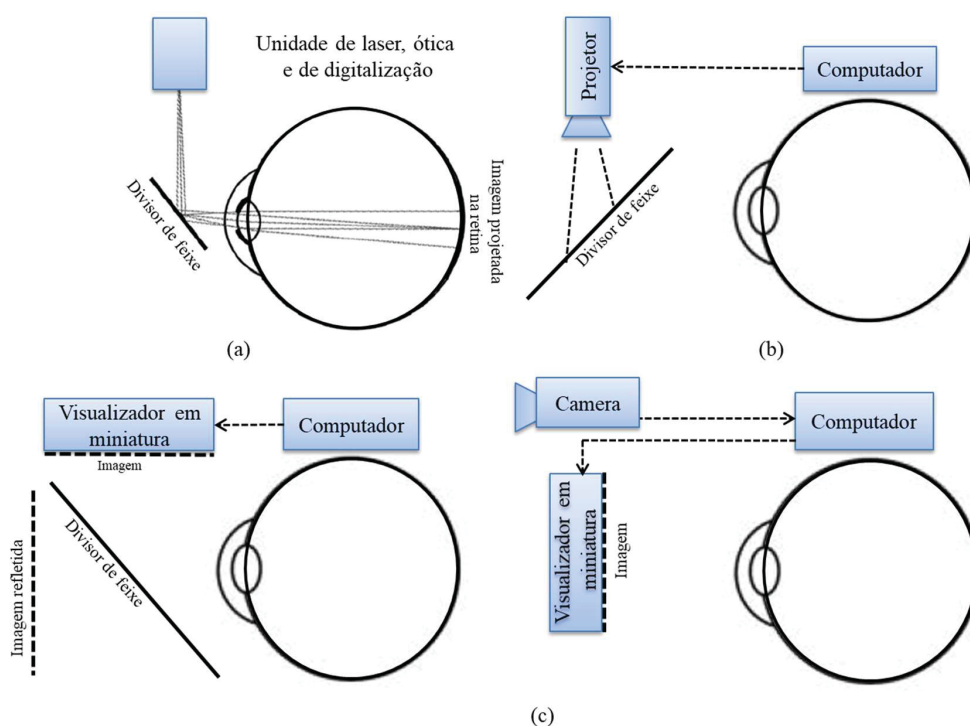
Os visualizadores anexados à cabeça podem ainda ser de três tipos (Figura 18): Superfície de Visualização de Retina (SVR), Projetores Montados na Cabeça (PMC) e Superfície de visualização Montada na Cabeça (SMC). O tipo de visualizador anexado na cabeça depende da tecnologia que ele utiliza para geração da imagem.

O visualizador do tipo SVR utiliza laser semiconductor de baixa potência para projetar a imagem diretamente na retina do olho humano. A vantagem é que ele produz imagens com mais brilho e maior ângulo de visão. Devido ao seu baixo consumo de energia, é constantemente utilizado em aplicações móveis de ambientes externos.

Os visualizadores do tipo SMC podem utilizar duas tecnologias diferentes para sobrepor imagens na visão do usuário:

- *Video See-Through (VST)*: faz a mistura de imagens do mundo real capturadas por câmera com informações virtuais e mostra o resultado em telas montadas na frente dos olhos do usuário (Figura 18 (c) à direita);
- *Optical See-Through (OST)*: usa combinadores óticos para misturar as informações do mundo real com as virtuais e apresentar ao usuário via espelhos semi-translúcidos ou telas LCDs transparentes (Figura 18 (c) à esquerda).

FIGURA 18 - DIAGRAMAS CONCEITUAIS: (a) VISUALIZADOR DE RETINA; (b) PROJETOR MONTADO NA CABEÇA; (c) VISUALIZADOR MONTADO NA CABEÇA



FONTE: Adaptada de BIMBER; RASKAR (2005).

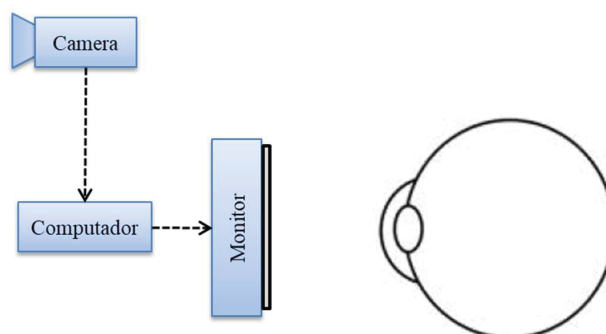
Os Visualizadores ao Alcance das Mãos (VAM), como *tablet*, Assistente Pessoal Digital (PDA) e *smartphone*, de acordo com a classificação feita por Roberto e Teichrieb (2012), são alternativas reais aos anexados à cabeça. Na realidade, estes visualizadores representam parte integrante de um componente completo, composto por processador, memória, superfície de visualização, câmera de vídeo e tecnologia de interação em um único dispositivo. Como são dispositivos de mão, comumente utilizam a tecnologia *Video See-Through* para sobreposição de imagens.

Os *tablets*, PDAs e *smartphones* representam dispositivos promissores para levar a Realidade Aumentada ao mercado em massa. Isto se deve a fatores como a popularização, a

integração de sensores embutidos, a disponibilização de ferramentas específicas para desenvolvimento de sistemas e também ao aumento do poder de processamento que os tornam mais rápidos a um custo acessível.

Outro tipo de visualizador utilizado por sistemas de Realidade Aumentada, referenciados como a “janela do mundo”, são os Visualizadores Baseados em Tela (VBT). Estes usam monitores comuns para apresentar as informações virtuais alinhadas com o ambiente real, dando a sensação de estar olhando para uma janela (Figura 19). Eles são limitados ao uso em sistemas fixos.

FIGURA 19 – DIAGRAMA CONCEITUAL DA REALIDADE AUMENTADA BASEADA EM TELA



FONTE: Adaptada de AZUMA (1997).

Segundo a classificação de Roberto e Teichrieb (2012), tem-se ainda os visualizadores espaciais que desanexam a tecnologia do usuário e a integram ao ambiente. Neste caso a informação virtual é inserida no ambiente real por meio ótico ou com projeções, e não apenas no campo de visão do observador.

Visualizadores Espaciais do tipo Óptico (VEO) são diferentes dos anexados na cabeça ou no corpo do tipo *Optical See-Through*. Eles geram imagens que são alinhadas dentro do ambiente físico, mas não seguem os movimentos do usuário. Um exemplo deste tipo de visualizador é mostrado na Figura 20.

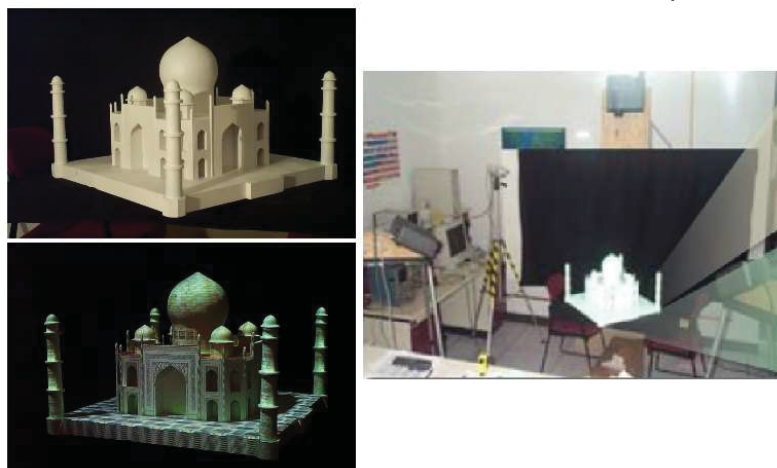
FIGURA 20 – VISUALIZADOR ESPACIAL DO TIPO ÓTICO



FONTE: LASER MAGIC PRODUCTIONS (2007).

Os Visualizadores Espaciais com Projeções (VEP) buscam sobrepor imagens diretamente nas superfícies dos objetos físicos, em vez de exibi-las em um plano de imagem contido dentro do campo de visão do espectador (Figura 21). Um único projetor estático, orientável ou então múltiplos projetores, são usados para aumentar a área de exposição e melhorar a qualidade da imagem. (VAN KREVELEN; POELMAN, 2010).

FIGURA 21 – VISUALIZADOR ESPACIAL COM PROJEÇÃO



FONTE: BIMBER; RASKAR (2005).

Os dispositivos de entrada são tão importantes quanto os de saída. Enquanto os últimos fornecem condições do sistema se comunicar com o usuário, os primeiros fornecem condições para que o usuário e o próprio ambiente se comuniquem com o sistema.

### 2.3.3 Mecanismo de Interação

Interação no contexto de IHC é entendida como a maneira com que o usuário se comunica com o sistema. Ela pode ser por meio de algum dispositivo ou então de forma simbólica. (KIRNER; SISCOUTTO, 2007).

Embora seja possível utilizar as técnicas de interação 2D, como teclado, mouse e telas sensíveis ao toque, outras técnicas avançadas para este tipo de sistema são recomendadas. Elas tiram proveito das características da tecnologia e permitem que o usuário interaja tanto com objetos virtuais quanto com objetos reais, por meios intuitivos e naturais para tal.

Não existe consenso na literatura para a categorização dos mecanismos de interação para sistemas de Realidade Aumentada. Neste trabalho eles são categorizados em tangíveis, baseados em gestos, de navegação, naturais e multimodais.

Os mecanismos tangíveis de interação são aqueles onde o usuário se comunica com o sistema manipulando objetos do mundo real. No caso de interface de Realidade Aumentada tangível, associam-se objetos virtuais a objetos físicos e o usuário interage com os virtuais manipulando estes objetos físicos. (THOMAS, 2007).

O aplicativo VOMAR ilustra este tipo de interação. Nele o usuário escolhe móveis, utilizando um manipulador em forma de raquete, para desenvolver leiaute de um ambiente virtual. Cada movimento no manipulador é mapeado para uma ação sobre um determinado objeto do ambiente virtual. A Figura 22 mostra uma tela desta aplicação. (KATO et al., 2000).

FIGURA 22 – TELA DE APLICAÇÃO VOMAR



FONTE: KATO *et al.* (2000).

O método de interação que se baseia em gestos, ocorre por meio de mímicas pré-definidas. O reconhecimento das mímicas é feito por meio de sensores utilizados no corpo do usuário ou até mesmo por meio de técnicas de visão computacional. A Figura 23 exemplifica este tipo de interação.

FIGURA 23 – EXEMPLO DO MÉTODO DE INTERAÇÃO POR MEIO DE GESTOS

FONTE: HILLIGES *et al.* (2012).

Outro método é o de navegação, também encontrado na literatura como *walking*. Esta técnica específica para dispositivos móveis é utilizada para auxiliar e guiar o usuário a navegar em ambientes. Um exemplo de sistema de Realidade Aumentada que utiliza este método é mostrado na Figura 24, que permite visitar uma galeria de arte de um museu. Por meio do uso de um computador vestível, conforme o sistema identifica algum marcador, ele o reconhece e projeta o conteúdo associado sobre ele.

FIGURA 24 – EXEMPLO DO MÉTODO DE INTERAÇÃO POR NAVEGAÇÃO



FONTE: KINER; SISCOOTTO (2007).

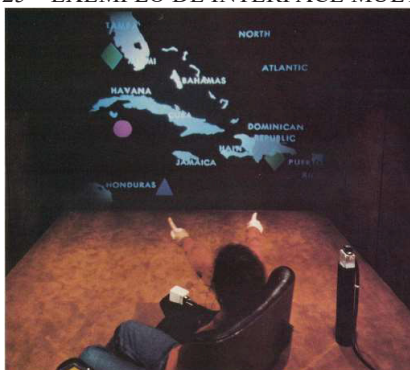
Outra classe de interfaces é a chamada classe de interfaces multimodais. As interfaces multimodais estabelecem um paradigma distinto do paradigma de interface convencional. Neste caso, a interação pode ser intermediada por meio de vários modos de comunicação naturais, tais como fala, toque, gestos e olhar, além dos tradicionais, como teclado e mouse. Os usos destes modos de comunicação podem ocorrer de forma simultânea ou em sequência, combinados ou independentes. (NETO, 2011).

As interfaces multimodais fornecem diversas vantagens aos usuários, como maior poder para se expressar com naturalidade e flexibilidade. Essas vantagens aumentam a usabilidade do sistema que favorece a sua aceitação. (NETO, 2011).

No contexto de sistemas de Realidade Aumentada, as interfaces multimodais combinam entrada de objetos reais com modos de comunicação naturais. Um exemplo de sistema que usa esse tipo de interface é o projeto chamado de *Put That There* (Figura 25). (BOLT, 1980).

Apesar de não ser considerada uma classe de método de interação, é relevante introduzir as interfaces colaborativas. Elas são caracterizadas pela criação de um ambiente virtual compartilhado para interação. (SANTIAGO *et al.*, 2010). Elas integram múltiplos dispositivos de interação em locais distintos ou não para que os usuários possam interagir. Esse tipo de interface é apropriado, por exemplo, às aplicações médicas de diagnósticos ou para a realização de cirurgias. Nas áreas da Engenharia estas interfaces podem ser usadas para realizar rotinas de manutenções ou até para a construção por meio da operação remota de máquinas. (FUJIWARA; ONDA, 2000; HUGUES; FUCHS; NANNIPIERI, 2011).

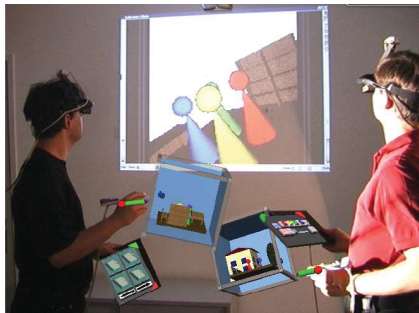
FIGURA 25 – EXEMPLO DE INTERFACE MULTIMODAL



FONTE: BOLT (1980).

O projeto *Studierstube* (Figura 26) é um exemplo de sistema de Realidade Aumentada que utiliza interface colaborativa. (SCHMALSTIEG *et al.*, 2002).

FIGURA 26 – INTERFACE DO PROJETO STUDIERSTUBE.

FONTE: SCHMALSTIEG *et al.* (2002).

#### 2.3.4 Projetos de Sistemas de Realidade Aumentada

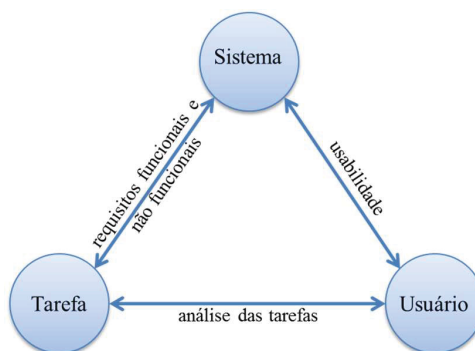
Os sistemas interativos, como os de Realidade Aumentada, buscam proporcionar ao usuário meios agradáveis para realizar as tarefas para a qual o sistema se propõe apoiar. Para isso recomenda-se que o desenvolvimento desses sistemas de Realidade Aumentada seja guiado por um projeto de IHC, resultante de uma análise centrada no usuário.

Como a Realidade Aumentada utiliza sensores para reconhecer o ambiente real, além de identificar as preferências do usuário, os projetos desses sistemas precisam definir as tecnologias indicadas para extrair do ambiente o necessário para que o aumento atenda aos requisitos do usuário, em especial quanto à precisão. Os sistemas de Realidade Aumentada podem ser desenvolvidos para ambientes abertos ou fechados, fixos ou móveis.

Os sistemas móveis, como o próprio nome diz, suportam a mobilidade do usuário e do sistema de forma não restrita. Já os sistemas fixos são utilizados onde estão alocados e configurados. Neste caso para seu funcionamento em outro ambiente, é preciso realocá-lo e reconfigurá-lo.

Sandor e Klinker (2007) afirmam que um bom sistema de Realidade Aumentada é resultado de decisões guiadas por restrições provenientes do relacionamento entre as tarefas, os usuários e o sistema, conforme mostrado na Figura 27.

FIGURA 27 – RELACIONAMENTO ENTRE TAREFAS, USUÁRIOS E TECNOLOGIAS.



FONTE: Adaptada de SANDOR; KLINKER (2007).

O objetivo principal do projeto de IHC de um sistema qualquer é proporcionar a usabilidade do sistema. Para isso busca reunir informações que ajudem a compreender o espaço do problema, sua natureza, a experiência do usuário e também esses projetos buscam identificar como as experiências podem ser melhoradas/alteradas. (SHARP; ROGERS; PREECE, 2013).

No âmbito dos projetos de IHC para sistemas de Realidade Aumentada, as informações obtidas devem ainda (SHARP; ROGERS; PREECE, 2013):

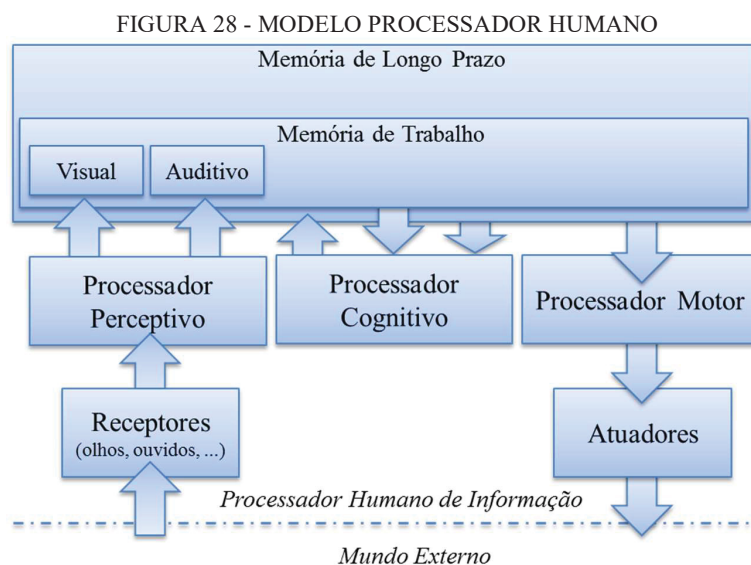
- Proporcionar meios de identificar como, onde e quando deve ocorrer o aumento da realidade do ambiente físico;
- Guiar as escolhas sobre quantidade de informações e quais as pertinentes ao ambiente ou à tarefa;
- Identificar como as informações podem ser apresentadas de maneira que sejam facilmente percebidas;
- Identificar como as informações devem ser representadas de forma que facilite o reconhecimento do seu significado.

Algumas abordagens utilizadas para identificar informações do projeto de IHC fazem uso de modelos de informação dos processos psicológicos.

Segundo Sharp, Rogers e Preece (2013), a resolução de problemas, o planejamento, o raciocínio e a tomada de decisão são processos que envolvem a cognição humana. O grau com que as pessoas se engajam na cognição depende do nível de experiência, das habilidades que possuem e das circunstâncias. (NIELSEN, 1993; SHARP; ROGERS; PREECE, 2013).

O Modelo Processador Humano de Informações, proposto por Card, Moran e Newell em 1983 é mostrado na Figura 28. Este modelo é utilizado em IHC e compreende numa

abordagem de base cognitiva, derivado da teoria de processamento de informação<sup>8</sup>. Ele integra três subsistemas (Perceptivo, Cognitivo e Motor), com sistemas de memórias, processadores e princípios distintos de operação. (BARBOSA; DA SILVA, 2010).



FONTE: Adaptada de BARBOSA; DA SILVA (2010).

As informações do mundo físico são detectadas pelo sistema perceptivo (visão, tato, olfato e paladar) e transmitido para representações mentais que são armazenadas temporariamente em áreas da memória sensorial. Algumas destas informações são codificadas e armazenadas na memória de trabalho.

O processador cognitivo auxilia na seleção das informações a serem armazenadas na memória de trabalho. Além disso, o processador cognitivo recebe as informações sensoriais da memória de trabalho e utilizando as informações armazenadas na memória de longo prazo, toma decisões e as traduz em ações ativando músculos. (BARBOSA; DA SILVA, 2010).

O estudo das atividades cognitivas e a identificação de como as estruturas do ambiente onde as tarefas são realizadas podem auxiliar a cognição, apontam meios de reduzir a carga cognitiva<sup>9</sup>. (HUTCHINS, 2000).

Carga cognitiva abrange aspectos cognitivos e informacionais. Caso seja apresentada uma grande quantidade de informações, o processador humano cognitivo não consegue

<sup>8</sup> Considera a mente humana como um processador de informações

<sup>9</sup> Carga cognitiva representa o esforço imposto ao processador cognitivo na execução de uma tarefa.

processar tudo, pois sua capacidade para tal é limitada (ele consegue processar um número de informações que variam de cinco a nove elementos).

A atenção é um meio de direcionar recursos mentais sobre uma informação e sobre os processos cognitivos em um dado momento. Assim quando a atenção é alta, o caminho para os processos de memória se abre, e a capacidade de acessar informação relacionada ao que se presta atenção melhora. (STERNBERG, 2000).

Sternberg (2000, p.78) define atenção como “fenômeno pelo qual processamos ativamente uma quantidade limitada de informações do enorme montante de informações disponíveis”.

A Realidade Aumentada, por meio da apresentação contextualizada de informações virtuais sobrepostas no ambiente real, contribui significativamente com o sistema sensorial humano, pois ela aumenta a quantidade de informação disponível que pode ser percebida e que por sua vez, beneficia o sistema cognitivo e reduz o trabalho mental. Conseqüentemente isto reflete positivamente no aumento da atenção e na melhora das condições para o usuário tomar decisões. (WANG et al., 2014).

Regenbrecht (2007) afirma que a Realidade Aumentada, quando traz informações apropriadas, para o lugar e momento onde são úteis, reduz custos, tempo, treinamento e erros. Desse modo a tecnologia reflete na eficácia e na eficiência de como realizar uma tarefa. (REGENBRECHT, 2007).

## 2.4 MODELO DA INFORMAÇÃO

Atualmente o emprego de TIC é fundamental para os sistemas computacionais. As TICs viabilizam o compartilhamento dos dados de maneira consistente. Assim vários usuários podem consultar e manipular os dados simultaneamente.

No entanto, para isso, os dados necessitam de uma organização única e consistente. Na AEC/FM existe um modelo de informação consolidado conhecido como BIM.

A adoção de TIC na AEC/FM é dividida por Wang e Love (2012) em quatro eras conforme apresentado no Quadro 3.

QUADRO 3 – ADOÇÃO DA TIC NA AEC/FM

ERA	DESCRIÇÃO
Primeira era	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de ferramentas computacionais para análise estrutural;</li> <li>• Realização de cálculos para o auxílio de tarefas específicas;</li> <li>• CAD.</li> </ul>
Segunda era	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporação de avanços tecnológicos para a comunicação (adoção de e-mail, web e sistemas de gestão de documentos).</li> </ul>
Terceira era	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição do Modelo, da abordagem de Modelagem da Informação da Construção e adoção do BIM.</li> </ul>
Quarta era	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Busca de tecnologias para o acesso às informações em campo de forma contextualizada.</li> </ul>

FONTE: Adaptado de WANG; LOVE (2012).

Embora a adoção do BIM seja efetiva no âmbito de edificações verticais nos países desenvolvidos, no setor de infraestrutura como barragens, ainda carece de avanços para que o BIM se consolide em um modelo padrão e seja adotado. (BRADLEY *et al.*, 2016).

BIM diz respeito tanto ao modelo quanto ao processo de modelagem da informação da construção. O modelo é a representação digital da modelagem da informação da construção (AHORA, 2015), enquanto que a modelagem é uma abordagem que elimina vários problemas inerentes à abordagem tradicional, como a fragmentação da documentação e a ineficiência na comunicação. (EASTMAN *et al.*, 2011).

A respeito da persistência dos dados coletados ao longo do tempo em uma barragem, o boletim 154 da ICOLD (2013) faz algumas recomendações:

- Os dados obtidos por meio da leitura de sensores e seus parâmetros precisam de acesso permanente para o recálculo de valores de parâmetros físicos;
- Os dados de uma leitura não devem ser excluídos, mesmo quando ele estiver errado. Neste caso o valor deve ser identificado como "erro" e ser mantido no banco de dados com o comentário;
- Cada dado deve ser ligado à data de medição e ao conjunto de parâmetros e comentários sobre a condição do sensor, observações de eventos durante as leituras.
- Os resultados das inspeções visuais devem ser gravados, mas, normalmente, é mais prático fazê-lo em um relatório "clássico".

## 2.5 TAXONOMIAS

Taxonomia é um termo derivado do grego (*táxis* – ordenação e *monia* – lei, norma, regra) introduzido por Candolle, em 1813. (CURRÁS, 2010; VIGNOLI; SOUTO; CERVANTES, 2013).

Inicialmente as taxonomias foram utilizadas para classificar lógica e cientificamente os seres vivos; mas atualmente é um método empregado em contextos variados como recurso para organizar e classificar unidades conceituais. (CURRÁS, 2010).

A seguir são apresentadas algumas taxonomias encontradas na literatura que classificam conhecimentos relacionados às grandes áreas deste trabalho: tarefas da AEC/FM e Realidade Aumentada.

### 2.5.1 Taxonomias na AEC/FM

As taxonomias na AEC/FM classificam o conhecimento a respeito do trabalho exigido no contexto de modo que ofereça meios para que se desenvolvam análises específicas.

Everett (1991) propôs uma taxonomia hierárquica<sup>10</sup> das tarefas relacionadas com a construção. Seu objetivo foi analisar as tarefas e apontar as mais adequadas para automação.

A taxonomia proposta por Everett é composta de nove táxons<sup>11</sup> – Indústria, Setor, Projeto, Divisão, Atividade, Tarefa Básica, Movimento Elementar, Ortopédicos e Célula.

Para analisar as tarefas identificadas no contexto da construção, Everett (1991) levou em consideração que humanos são mais capacitados para tarefas que predominam ações improvisadas, ou que possuem informações incertas e que requerem julgamentos baseados na experiência e percepção de estímulos complexos. Já as máquinas são adequadas para armazenarem e recuperarem informações e realizarem grandes quantidades de trabalho ou trabalhos repetitivos, em um curto espaço de tempo, sem se distrair com fatores externos.

Dunston e Wang (2011) propuseram outra taxonomia hierárquica para o contexto da AEC/FM. Neste caso as operações e as tarefas foram categorizadas. O objetivo principal foi proporcionar condições para analisá-las quanto a questões relacionadas ao uso da Realidade Misturada<sup>12</sup>. Segundo os autores, a taxonomia proporcionou os seguintes benefícios:

- Facilitou identificar as oportunidades para explorar a Realidade Misturada na AEC/FM.
- Estabeleceu metodologias para mapear a tecnologia às tarefas contexto.
- Identificou as tarefas fundamentais da AEC/FM.

---

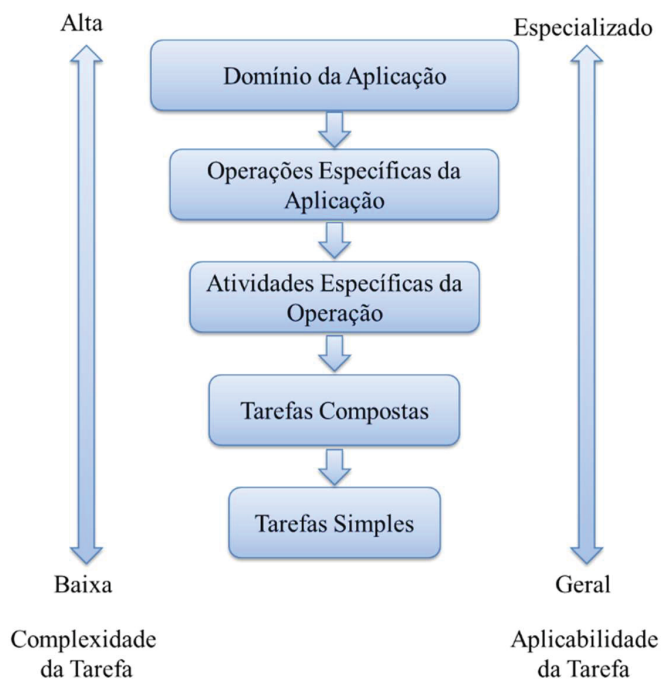
<sup>10</sup> “Hierarquia é a forma adaptável para inteligência finita assumir uma face complexa”. (Herbert Simon).

<sup>11</sup> Unidade taxonômica associada a um sistema de classificação científica.

<sup>12</sup> Tecnologia que combina, em proporções variadas, elementos virtuais com elementos reais. Tanto a Realidade Aumentada quanto a Virtualidade Aumentada são consideradas Realidade Misturada; o que muda é a proporção entre elementos reais e elementos virtuais.

Essa taxonomia proposta por Dunston e Wang (2011), é composta por cinco *táxons* – Domínio da Aplicação, Operações Específicas da Aplicação, Atividades Específicas da Operação, Tarefas Compostas e Tarefas Simples, como mostra a Figura 29.

FIGURA 29 – TAXONOMIA HIERÁRQUICA DAS OPERAÇÕES DA AEC



FONTE: Adaptada de DUNSTON; WANG (2011).

O Quadro 4 apresenta exemplos dos elementos de cada nível hierárquico. De acordo com os autores, o nível das tarefas compostas é apropriado para avaliar a adequação da tecnologia de Realidade Misturada. Neste caso, a taxonomia auxiliou a evidenciar oportunidades para o uso da Realidade Misturada no nível de complexidade apropriado da tarefa. Segundo os autores, a taxonomia evidencia as necessidades da prática exigida no contexto, em diferentes níveis de complexidade, fomentando meios para estudá-las individualmente, relacioná-las às alternativas de componentes da tecnologia.

QUADRO 4 – ELEMENTOS DA TAXONOMIA HIERÁRQUICA DAS OPERAÇÕES DA AEC

NÍVEL	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
1	Domínio da Aplicação	Arquitetura, Engenharia, Construção, Inspeção
2	Operações Específicas da Aplicação	Manutenção, reparo, construção, inspeção
3	Atividades Específicas da Operação	Montagem, exame do fluxo de trabalho
4	Tarefas Compostas	Medir, conectar, navegar, organizar, obter
5	Tarefas Simples	Alcançar, segurar, mover

FONTE: Adaptado de DUNSTON; WANG (2011).

### 2.5.2 Taxonomia do Comportamento Humano

No contexto de modelos de processamento de informação, Berliner et al. (1964), propuseram uma taxonomia que determina unidades elementares de comportamento em relação aos processos de percepção, cognição, ação e comunicação. As unidades elementares de comportamento são declaradas por meio de 32 verbos classificados quanto ao tipo de atividade realizada.

Embora esta taxonomia tenha sido proposta há mais de 50 anos, é utilizada para determinar o comportamento humano e auxiliar na descrição dos procedimentos operacionais. (BEGOSSO, 2005).

De acordo com a Eurocontrol (2002) a classificação proposta por Berliner et al. (1964) é útil para explicar os comportamentos que são comuns em tarefas que exigem algum tipo de interação.

A Figura 30 mostra as 32 unidades elementares de comportamento classificadas quanto aos processos de percepção, cognição, motor e de comunicação e quanto ao tipo de atividade (representadas pelas cores dos marcadores).

### 2.5.3 Taxonomias de Realidade Aumentada

Desde que surgiu a tecnologia de Realidade Aumentada, buscam-se meios para classificar e categorizar os conceitos associados, sendo que a proposição de taxonomias é uma das alternativas utilizadas para tal.

FIGURA 30 – TAXONOMIA DE BERLINER ET AL.

COGNITIVO	PERCEPTIVO	MOTOR	DE COMUNICAÇÃO
➔ Calcular	➔ Inspeccionar	➔ Mover	Responder
➔ Escolher	➔ Observar	➔ Segurar	Informar
➔ Dividir	➔ Ler	➔ Puxar/impulsionar	Pedir
➔ Comparar	➔ Monitorar	➔ Dar	Registrar
➔ Interpolar	➔ Explorar	➔ Remover	Ordenar
➔ Verificar	➔ Detectar	➔ Descartar	Receber
➔ Lembrar	➔ Identificar	➔ Devolver	
	➔ Localizar	➔ Posicionar	
		➔ Ajustar	
		➔ Digitar	
		➔ Instalar	

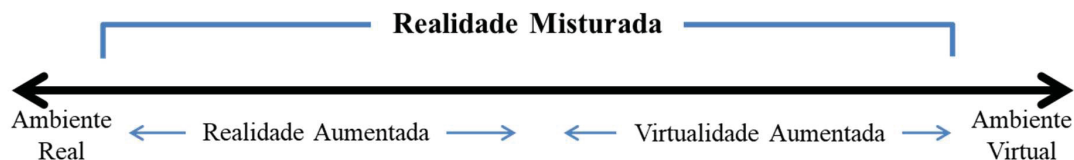
  

➔ Solução de problemas e Tomada de decisão
➔ Processamento de Informações
➔ Procurar e receber informação
➔ Identificar objetos, eventos e ações
➔ Simples e discreta
➔ Complexa e contínua

FONTE: Adaptada de BEGOSSO (2005).

Milgram e Kishino (1994) propuseram uma taxonomia muito conhecida que define a Realidade Aumentada como parte do “Contínuo Virtualidade”. Esta taxonomia apesar de não classificar exclusivamente a Realidade Aumentada, fornece uma visão geral de onde ela se encontra em relação a um contínuo que abrange todas as tecnologias que combinam elementos do mundo real com outros virtuais em proporções variáveis. Quando há predominância dos elementos reais tem-se Realidade Aumentada, do contrário tem-se Virtualidade Aumentada.

FIGURA 31 – CONTÍNUO VIRTUALIDADE

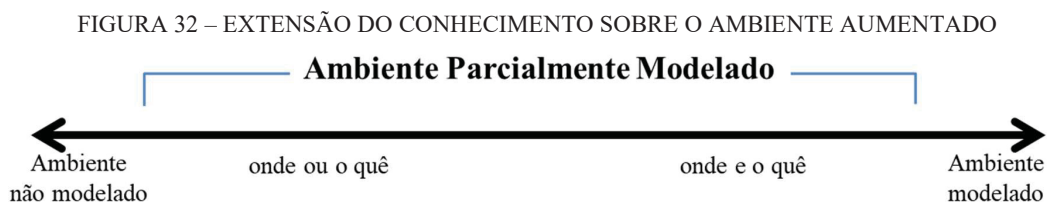


FONTE: Adaptada de MILGRAM; KISHINO (1994).

Além do “Contínuo Virtualidade”, Milgram e Kishino (1994) definiram dimensões associadas aos componentes necessários para o ambiente misturado. Eles estabeleceram os seguintes contínuos: “Extensão do Conhecimento sobre o Ambiente Aumentado”, “Fidelidade

da Representação do que é Real”, “Fidelidade da Representação do que é Virtual” e “Extensão da Metáfora de Presença”.

Segundo Milgram e Kishino (1994) o contínuo “Extensão do Conhecimento sobre o Ambiente Aumentado” escabece as variações quanto ao conhecimento que o sistema tem sobre ambiente aumentado. Esse contínuo está representado na Figura 32.



FONTE: Adaptada de MILGRAM; KISHINO (1994).

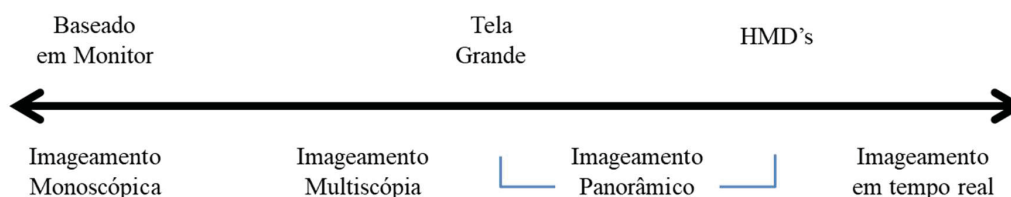
Essa taxonomia define também duas dimensões associadas com a fidelidade na representação, conforme mostrado na Figura 33. Uma dimensão estabelece os níveis de variação da qualidade do que usuário visualiza do ambiente real (fidelidade na representação do real) e a outra determina o quão real é a representação dos objetos virtuais sobrepostos no ambiente real (fidelidade na representação do ambiente virtual). A fidelidade na representação do real é diretamente associada às características do dispositivo utilizado para visualização; então, o meio pelo qual o ambiente é capturado, sintetizado e apresentado interferem na qualidade com que se percebe o ambiente real.



FONTE: Adaptada de MILGRAM; KISHINO (1994).

Ainda Milgram e Kishino (1994) definiram outra dimensão nomeada de “Extensão da Metáfora de Presença”. Essa dimensão estabelece às variações de níveis de imersão que o usuário pode experimentar o ambiente misturado, conforme mostrado na Figura 34.

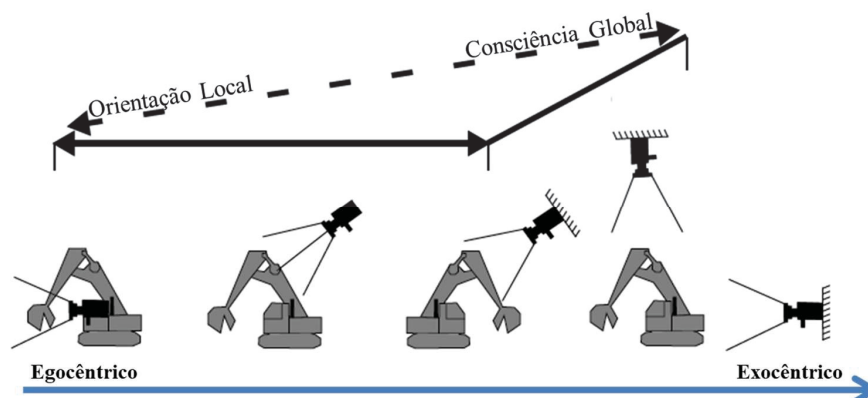
FIGURA 34 – EXTENSÃO DA METÁFORA DE PRESENÇA



FONTE: Adaptada de MILGRAM; KISHINO (1994).

Mais tarde, Milgram e Colquhoun (1999) definiram outras duas dimensões: “Centricidade do Visualizador” e “Congruência do Controle do Visualizador”. A primeira define as variações da distância relativa entre o ponto de vista da cena e o ponto de vista do usuário. Essas variações vão de egocêntrica a exocêntrica (Figura 35).

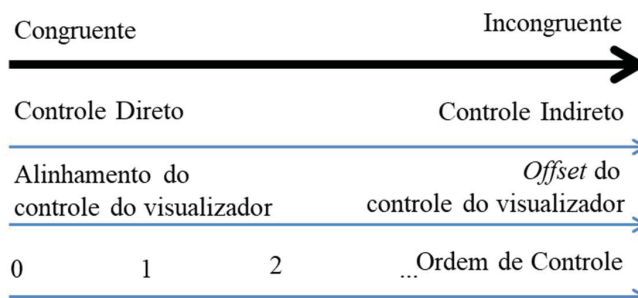
FIGURA 35 – CENTRICIDADE DO VISUALIZADOR



FONTE: Adaptada de MILGRAM; COLQUHOUN (1999).

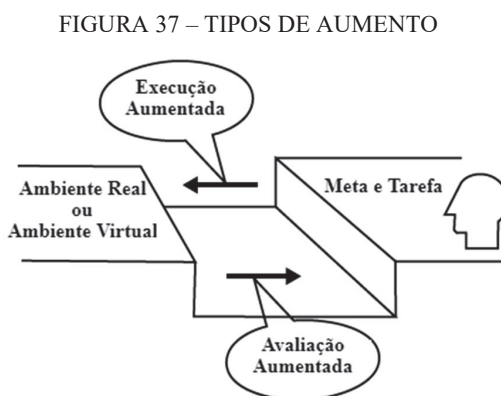
Já a dimensão “Congruência do Controle do Visualizador” trata do mapeamento entre o ponto de vista e as entradas do usuário (Figura 36). Essa dimensão identifica as transformações espaciais (espaço de entrada e o de exibição), fornecendo informações úteis para o projeto de IHC.

FIGURA 36 – CONGRUÊNCIA DO CONTROLE DO VISUALIZADOR



FONTE: Adaptada de MILGRAM; COLQUHOUN (1999).

Dubois e Nigay (2000) propuseram outra taxonomia de Realidade Misturada. Eles classificaram os sistemas quanto a duas dimensões ligadas especificamente com o processo de interação do usuário com o ambiente e do usuário com o sistema, conforme apresentado na Figura 37.



FONTE: Adaptada de DUBOIS; NIGAY (2000).

Segundo Dubois e Nigay (2000) os sistemas de Realidade Misturada quanto ao processo de interação variam no foco na tarefa e na natureza do aumento. A dimensão “Foco da tarefa” classifica a interação quanto ao objetivo da tarefa a ser realizada com o sistema: manipular ou modificar conteúdo do ambiente físico ou então manipular ou modificar conteúdo do ambiente virtual.

Quando o objetivo da tarefa a ser realizada com o sistema é manipular ou modificar conteúdo do ambiente físico, o foco da tarefa é o mundo real e tem-se a Realidade Aumentada. Já no segundo caso, onde o foco da tarefa é manipular ou modificar conteúdo do ambiente virtual tem-se a Virtualidade Aumentada.

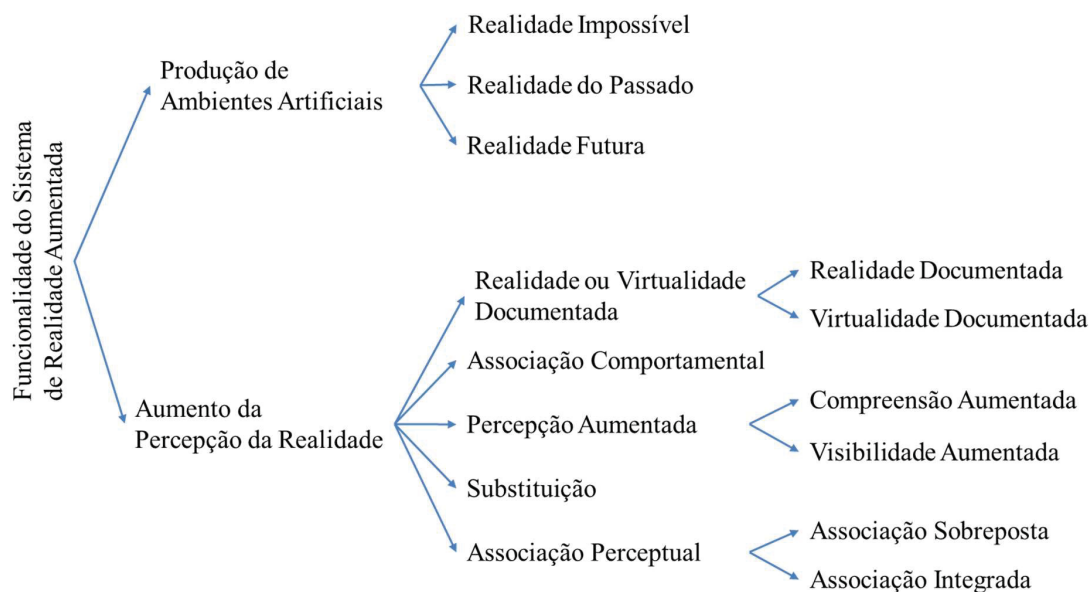
A segunda dimensão definida por Dubois e Nigay (2000) foi nomeada por eles como “Natureza do aumento”. Ela classifica o aumento realizado em: para executar alguma tarefa física ou para executar alguma tarefa mental. Se a tarefa a ser executada é física, a natureza do aumento é “Execução”; mas se a tarefa a ser executada é mental, a natureza do aumento é “Avaliação”.

Com base nas variações estabelecidas para as dimensões definidas na taxonomia de Dubois e Nigay (2000) é possível determinar quatro classes de sistemas: “Realidade Aumentada para Avaliação”, “Realidade Aumentada para Execução”, “Virtualidade Aumentada para Avaliação” e “Virtualidade Aumentada para Execução”.

Hugues Fuchs e Nannipeiri (2011) propuseram outra taxonomia para os sistemas de Realidade Aumentada conforme é apresentado na Figura 38. Esta taxonomia explora o

conteúdo que pode ser utilizado para aumentar a realidade, tomando como base a função que ele assume quando aumentado. A proposta leva em conta a funcionalidade do sistema de e os classifica de modo geral em: sistemas para aumentar a percepção da realidade ou sistemas para produzir ambientes artificiais.

FIGURA 38 – FUNCIONALIDADE DO SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA



FONTE: Adaptado de HUGUES; FUCHS E NANNIPIERI (2011)

Os sistemas que aumentam a percepção da realidade, oferecem informações a respeito do ambiente aumentado, ampliando a percepção sobre a realidade. Essa funcionalidade pode ocorrer em diferentes graus de relacionamento entre o real e a informação virtual do sistema de Realidade Aumentada. Desse modo, os sistemas com essa funcionalidade são classificados ainda em: “Realidade ou Virtualidade Documentada”, “Percepção Aumentada”, “Associação Perceptual” ou então “Associação Comportamental”.

Nos sistemas de “Realidade ou Virtualidade Documentada” o real e o virtual estão relacionados, mas são mostrados em visualizadores distintos. Eles procuram melhorar a compreensão de algo, real ou virtual, adicionando informações semânticas passivas fornecidas em um visualizador de suporte.

Na “Realidade Documentada” as informações adicionadas são virtuais; elas procuram auxiliar o usuário a compreender algo do ambiente real. Enquanto que na “Virtualidade Documentada” adiciona-se partes reais de algo virtual que se deseja compreender.

Os sistemas classificados como “Percepção Aumentada” são aqueles que relacionam o real e o virtual e mostram o resultado num visualizador único. Dependendo da compreensão

oferecida pelo aumento, a percepção aumentada pode ser classificada como “Compreensão Aumentada” ou “Visibilidade Aumentada”.

Na “Compreensão Aumentada” informações semânticas passivas (símbolos, títulos, entre outros) que fornecem informações complementares sobre a realidade são sobrepostas; já na “Visibilidade Aumentada” modelos virtuais são combinados a objetos reais com intuito de destacar, perceber ou entender algo (visível ou não).

A classe de sistemas “Associação Perceptual” os objetos virtuais e os reais são relacionados e mostrados num único visualizador. No entanto os objetos virtuais não existem no ambiente real observado; eles são sobrepostos para melhorar as condições do usuário para tomar decisões. Ela ainda pode se distinguir em duas formas dependendo do nível de integração existente entre os objetos virtuais no ambiente real: “Associação Sobreposta” e “Associação Integrada”. Na “Associação Sobreposta” a associação perceptual entre os objetos virtuais no ambiente real é por sobreposição, ou seja, não trata a oclusão; já na “Associação Integrada” a associação perceptual entre os objetos virtuais no ambiente real é por integração, ou seja, trata a oclusão e por isso o aumento parece mais real, dá a noção da distância do observador e o ambiente aumentado.

Nos sistemas da classe “Associação Comportamental” o real e o virtual relacionados também são mostrados num único visualizador. No entanto os objetos virtuais sofrem modificações levando em consideração suas propriedades físicas. Nessa classe de sistema são definidas interações geométricas e físicas entre objetos reais e os virtuais.

A classe de sistemas nomeados de “Substituição” é composta por sistemas onde o ambiente real é substituído pelo virtual. Pode ser chamado também de Realidade Virtualizada.

A segunda classe geral de sistemas identificados por Hugues Fuchs e Nannipeiri (2011) são os que produzem ambientes artificiais. Eles disponibilizam imagens mentais que não se relacionam diretamente com ambiente físico atual. Eles podem ser de três tipos: “Realidade Futura”, “Realidade do Passado” ou “Realidade Impossível”.

Os sistemas do tipo “Realidade Futura” apresenta para o usuário uma possível realidade futura combinando o ambiente real com imagens virtuais ou um ambiente virtual com imagens reais. A realidade futura pode ser apresentada por sobreposição (não tratando a oclusão) ou por integração (tratando a oclusão).

Os sistemas “Realidade do Passado”, como o nome diz, retratam como era a realidade em um momento passado. Da mesma forma que os sistemas do tipo realidade futura, é possível associar objetos virtuais, neste caso que não existem mais, a ambientes reais ou então associar objetos reais que ainda existem a ambientes que não existem mais. Neste caso a realidade do

passado pode ser apresentada também por sobreposição (não tratando a oclusão) ou por integração (tratando a oclusão). Por fim o sistema pode ser do tipo que retrata uma “Realidade Impossível”. Aqui é possível representar uma imaginação da realidade. Neste caso o sistema não tem como objetivo auxiliar as decisões, compreensões do mundo real. Muitas vezes produz ambientes sem utilidade prática.

Tönnis, Plecher e Klinker (2013) propuseram uma taxonomia para classificar o espaço de apresentação da Realidade Aumentada; para isso foram definidas cinco dimensões: “Temporalidade”, “Dimensionalidade”, “Ponto de vista do quadro de referência”, “Montagem/Registro” e “Tipo de Referência”.

A dimensão “Temporalidade” classifica a informação virtual sobreposta no ambiente real quanto ao seu tempo de permanência no ambiente aumentado. A informação pode permanecer de maneira “contínua” ou “discreta”.

A “Dimensionalidade” classifica a informação virtual apresentada no ambiente aumentado quanto ao número de dimensões que ela possui. Ela pode ter “2 Dimensões” – 2D (normalmente textos) ou “3 Dimensões” - 3D (objetos).

A dimensão “Ponto de vista do quadro de referência” é utilizado nessa taxonomia para classificar a relação que existe entre o ponto de vista do usuário e o ponto de vista do dispositivo utilizado para visualização da Realidade Aumentada. Ele pode variar de “egocêntrico” (usuário e dispositivo de visualização possuem mesmo ponto de vista) a “exocêntrico” (usuário e dispositivo de visualização possuem pontos de vista distintos).

O espaço de apresentação pode ainda ser classificado quanto a dimensão “Montagem/Registro”. Ela classifica os possíveis locais físicos onde a informação virtual pode estar associada: “Humano”, “Ambiente”, “Mundo” ou “Múltiplas Montagens”. Se a “Montagem/Registro” é do tipo “Humano”, o aumento é associado a uma parte do corpo do usuário, por exemplo, sua mão. No entanto, se a “Montagem/Registro” é do tipo “Ambiente” o aumento é associado em um objeto físico. A “Montagem/Registro” pode ser ainda do tipo “Mundo”. Nesse caso o aumento é associado a uma coordenada absoluta do mundo. Por fim a “Montagem/Registro” pode ser do tipo “Múltiplas Montagens”. Nesse caso combina as diferentes classes de montagem citadas anteriormente.

A dimensão “Tipo de referência” foi definida com intuito de classificar os tipos de relação entre a informação virtual e ambiente real. Ela pode ser: “Direta”, “Indireta” ou “Pura”. A referência é do tipo “Direta” quando a sobreposição da informação virtual ocorre diretamente sobre o que se deseja aumentar; é “Indireta” quando a sobreposição da informação virtual ocorre sobre objetos físicos ocluídos, ou seja, que não são visíveis no ambiente pelo observador; ou é

“Pura” caso a informação virtual não é para representar diretamente objetos do ambiente real. A informação é para representar links entre objetos, ou apontamentos para objetos físicos ou locais que não estão no campo de exibição. Neste caso as informações virtuais são chamadas de objetos/informações de referência.

## 2.6 TRABALHOS CORRELATOS

Esta pesquisa considera como trabalho correlato aquele que avalia, mede, propõe ou então identifica onde, como ou para que a Realidade Aumentada pode ser empregada na engenharia.

Na literatura foram encontrados muitos trabalhos correlatos a esta pesquisa. Grande parte desses trabalhos descreve protótipos desenvolvidos e procura avaliar a satisfação dos usuários nas experiências proporcionadas (BAE; GOLPARVAR-FARD; WHITE, 2013; GOLPARVAR-FARD et al., 2011; GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2009; IRIZARRY et al., 2013; KWON; PARK; LIM, 2014; MEŽA; TURK; DOLENC, 2014; PARK et al., 2013; PARK; KIM, 2013; SCHWALD et al., 2003; SHIN; DUNSTON, 2009; WANG et al., 2014; WANG; DUNSTON, 2007; WANG; DUNSTON; SKINIEWSKI, 2004).

Golparvar-Fard, Peña e Savarese (2009), Shin e Dunston (2009), Golparvar-Fard et al. (2011), Park et al. (2013), Bae, Golparvar e White (2013), Kwon, Park e Lim (2014), Meža, Turk e Dolenc (2014) e Wang et al. (2014) são exemplos de trabalhos que empregam a tecnologia para auxiliar no monitoramento ou nas inspeções dos ambientes, durante a construção.

Irizarry et al. (2013), Park et al. (2013), Park e Kim (2013) e Kwon, Park e Lim (2014) investigaram as contribuições da Realidade Aumentada para a gestão de uma construção.

Schwald et al. (2003), Wang, Dunston e Skiniewski (2004) e Wang e Dunston (2007) investigaram o uso da Realidade Aumentada em treinamentos.

Reinhart, Patron e Reallty (2002), Hou e Wang (2011), Hou e Wang (2013) e Wang et al. (2014) descreveram trabalhos que aplicam a Realidade Aumentada para o auxílio em montagens.

Lee e Akin (2011) relataram o uso da Realidade Aumentada para manutenções. Su et al. (2013) analisaram o aproveitamento da tecnologia para a execução de tarefas que apresentam incertezas.

Fujiwara e Onda (2000) apresentaram um trabalho que investiga o uso da Realidade Aumentada na execução de tarefas em ambientes remotamente.

Shrahily e et al. (2015) e Wang et al. (2014) destacaram que a tecnologia em questão no contexto favorece a comunicação. Park e Kim (2013) afirmaram que ela também contribui para a segurança.

O trabalho de Wang e Love (2012) destaca os benefícios alcançados pelo uso da Realidade Aumentada para explorar as informações do modelo BIM conforme mostrado no Quadro 5.

QUADRO 5 – BENEFÍCIOS EM UTILIZAR REALIDADE AUMENTADA COM BIM

ASPECTOS	BENEFÍCIOS
Interdependência	Evidencia dependências entre tarefas.
	Fornecer visões integradas dos modelos.
	Contribui com o gerenciamento das atividades locais.
Conexão do digital com o físico	Facilita executar as atividades conforme planejado.
	Facilita a compreensão dos projetos.
Sincronização dos modelos mentais e comunicação	Proporciona uma visão unificada das informações.
	Os gerentes podem visualizar a informação geral programada enquanto monitoram planos individuais.
	Permite detectar conflitos entre especialidades e entre componentes a serem instalados, no local, em tempo real.
Controle, monitoramento e <i>feedback</i>	Alinha os modelos virtuais para comparar visualmente o planejado com o executado.
	Ressalta as diferenças e contribui no controle, monitoramento e <i>feedback</i> .
	Apresenta o estado atribuído a cada componente (identificado, ordenado, entregue, verificado, instalado, fixo, roubado, protegido e completo).
	Oferece meios de resolver conflitos que geram atrasos e prejudicam a qualidade e a segurança.
Rastreamento e gerenciamento do fluxo de materiais	Permite atualizar o progresso do planejado registrando o que foi executado.
	Permite visualizar a correlação das informações do Planejamento de Recursos da Empresa (ERP), com as do modelo BIM.
Do projeto à construção	Permite explorar os modelos em 3D de forma interativa; proporciona melhor compreensão dos detalhes do projeto e eleva o nível de construtibilidade.
Planejamento e armazenamento local	Auxilia os trabalhadores a localizar depósitos e a gerenciar a alocação de materiais.
	Evita desperdícios de tempo e materiais, danos aos materiais e trabalhos desnecessários.

FONTE: Adaptado de Wang e Love (2012).

Na verdade este conjunto de trabalhos comprovam que a tecnologia tem impacto positivo nas práticas do setor e que pode auxiliar na resolução de dificuldades existentes de muitas formas.

Dentre os trabalhos estudados o único trabalho encontrado que descreve o emprego da Realidade Aumentada no setor de infraestrutura, é o apresentado por Fujiwara e Onda (2000). Eles apresentam o sistema ARLINER que utiliza a tecnologia para auxiliar a construção de diques de contenção, em locais de acesso perigoso (encostas de vulcão em atividade), por meio da operação remota de máquinas.

Outro trabalho que merece destaque é o de Hammad, Garrett e Karimi (2002). Esse trabalho define uma classe de aplicações de Realidade Aumentada que eles chamaram de

*Mobile Augmented Reality System for Infrastructure Field Tasks (MARSIFT)*. Esse trabalho apresenta, de maneira descritiva, utilidades da Realidade Aumentada Móvel na realização das atividades necessárias nas construções de infraestrutura. Eles citam o uso da Realidade Aumentada para guiar deslocamentos de profissionais a locais específicos, apresentar informações sobre evolução, relacionadas com as atividades de monitoramento ou inspeções, para a comunicação entre as equipes e para identificar posições específicas de interesse por meio de técnicas de rastreamento precisos.

Por fim o trabalho de Wang e outros (2013b) também é considerado de relevância para esta pesquisa visto que ele define uma estrutura conceitual para integrar a Realidade Aumentada com o BIM. Ele utilizou classificações descritas na literatura científica para organizar os conceitos da tecnologia, o modelo de dados BIM e os trabalhos operacionais e gerenciais do âmbito de edificações. Através dessas classificações, ele propôs as relações e identificou aplicações e benefícios que essas aplicações podem proporcionar.

Este conjunto de trabalhos mostram que a Realidade Aumentada é uma tecnologia com grande potencial na engenharia. Ela tem se mostrado adequada para viabilizar o acesso e o compartilhamento de informações pela equipe de profissionais que cooperam entre si. Alguns trabalhos destacam que ela viabiliza que as informações a respeito da edificação, projetadas no escritório, sejam acessadas no canteiro de obras, de maneira contextualizada. Inclusive alguns trabalhos apontam que a adoção da Realidade Aumentada na área seja uma versão estendida do Modelo de Informação da Construção (BIM), pois a tecnologia aborda uma das principais questões atualmente investigadas no BIM: meios eficazes e eficientes para explorar as informações altamente integradas e organizadas. (BEHZADAN; DONG; KAMAT, 2015; WANG; LOVE, 2012). O emprego da Realidade Aumentada em conjunto com o BIM, conforme colocado por Wang e outros (2013b) busca principalmente:

- Reduzir discrepâncias entre as soluções planejadas e as executadas.
- Reduzir a ineficiência na comunicação entre os profissionais envolvidos nas atividades.
- Melhorar a percepção e a cognição dos profissionais envolvidos, para a tomada de decisões.
- Facilitar o acesso às informações relacionadas às atividades.
- Melhorar a concentração e a atenção do profissional na execução das atividades.

## 2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os assuntos estudados e apresentados neste capítulo oferecem o embasamento necessário para a condução da pesquisa.

Por meio de uma breve análise dos trabalhos correlatos, percebe-se que embora o potencial do uso da Realidade Aumentada na engenharia tenha sido identificado e explorado por várias pesquisas, elas exploraram uma pequena parte da área como um todo considerando a sua amplitude e complexidade. Por exemplo, as construções de infraestrutura como as barragens, apesar de promissoras para o uso da Realidade Aumentada, foram pouco investigadas.

Essas construções de infraestrutura, geram ambientes complexos no âmbito gerencial e no operacional. Além disso, devido aos riscos associados, possuem alto nível de exigência quanto à segurança e carecem de recursos que viabilizem um ambiente onde os dados e as informações sejam precisos, consistentes, compartilhados e acessíveis entre os membros das equipes.

Embora na literatura científica sejam encontrados centenas de trabalhos propondo estruturas conceituais, somente o de Wang e outros (2013b) discute algo similar sobre integração da tecnologia só que neste caso com o BIM.

### 3 MÉTODO DA PESQUISA

Segundo Charmaz (2009) o problema de pesquisa deve determinar o método adequado a pesquisa. Assim, considerando o objetivo desta pesquisa – desenvolver uma estrutura conceitual para integração da auscultação das fissuras em barragens de concreto com a Realidade Aumentada - e considerando também a afirmação de Jabareen (2009) sobre o que é uma estrutura conceitual – uma rede de conceitos interligados que emergem de processos de teorização conduzidos por métodos da Teoria Fundamentada; acredita-se que o método adequado é a Teoria Fundamentada. Desse modo, este capítulo caracteriza a Teoria Fundamentada e apresenta o método proposto para condução desta pesquisa.

#### 3.1 TEORIA FUNDAMENTADA

A Teoria Fundamentada é uma abordagem proposta pelos sociólogos Glaser e Strauss com três principais objetivos (GLASER; STRAUSS, 1967 citado por GASQUE, 2007):

- Proporcionar uma base lógica para a teorização e extinção da lacuna entre a teoria e a pesquisa empírica.
- Propor padrões e procedimentos para a descoberta da teoria.
- Validar a pesquisa qualitativa como adequada e específica para gerar teorias.

Embora os métodos da Teoria Fundamentada possam ser utilizados com dados quantitativos, eles são normalmente utilizados com dados qualitativos.

A Teoria Fundamentada se concentra na criação de esquemas conceituais de teorias por meio da construção da análise indutiva a partir dos dados. Desse modo, as categorias analíticas são diretamente “fundamentadas” nos dados.

Conforme esclarece Hunter e outros (2011), os métodos da Teoria Fundamentada atualmente são classificados em três abordagens: clássica ou glaseriana, subjetivista ou straussiana e construtivista.

A Teoria Fundamentada construtivista é parte integrante da tradição interpretativa e a Teoria Fundamentada clássica deriva do positivismo.

As teorias desenvolvidas numa pesquisa conduzida pela Teoria Fundamentada resultam de processos iterativos e exaustivos de coleta, preparação e análise de dados; por isso é frequentemente citada na literatura como método de análise comparativa constante.

É possível delinear os processos da Teoria Fundamentada em três etapas principais: amostragem teórica, codificação e redação da teoria.

A amostragem teórica compreende na coleta dos dados para a geração da teoria. Ela ocorre simultaneamente à codificação e à análise dos dados. Seu principal objetivo é guiar as decisões sobre quais dados devem ser coletados e onde encontrá-los. Esses dados fundamentam a teoria em construção. (GLASER; STRAUSS, 1967 citado por GASQUE, 2007).

Na codificação os dados coletados são rotulados e analisados, comparados e categorizados de modo que surgem categorias e conceitos que tomam corpo e forma (gráfica ou narrativa) e comunicam ideias. Daí emergem as teorias (JABAREEN, 2009); elas são descobertas por meio da inter-relação de categorias de informação. As três etapas do processo levam a saturação dos dados.

Os métodos da Teoria Fundamentada não partem de um modelo baseado em conhecimentos teóricos, mas de dados e do campo de estudo de onde vão emergem suposições teóricas e descobertas (FLICK, 2002).

De forma geral, o processo envolve realizar comparações entre dados coletados e obter abstrações e ao mesmo tempo envolve vincular essas abstrações aos dados, ou seja, envolve estudar o específico e o geral e perceber o que existe de novo neles e então explorar as suas conexões com questões mais amplas ou criar questões mais amplas, ainda desconhecidas. (CHARMAZ, 2009).

Em síntese, o emprego da Teoria Fundamentada apresenta as seguintes características (GLASER; STRAUSS, 1967):

- O envolvimento simultâneo na coleta e na análise dos dados.
- A construção de códigos e categoria analíticas e não de hipóteses preconcebidas e logicamente deduzidas.
- A utilização do método comparativo constante durante cada etapa da análise.
- O avanço no desenvolvimento da teoria em cada passo da coleta e da análise dos dados.
- A redação de memorandos para definir categorias, especificar as propriedades, determinar as relações entre as categorias e identificar lacunas.
- A amostragem dirigida à construção da teoria.
- A realização da revisão bibliográfica após o desenvolvimento de uma análise independente.

### 3.2 ETAPAS DO MÉTODO PROPOSTO

O método proposto e utilizado para conduzir os trabalhos necessários nesta pesquisa é mostrado na Figura 39. Ele considera a Teoria Fundamentada como base.

Conforme se observa, o método proposto é caracterizado por processos iterativos e exaustivos, delineados por três etapas principais, conforme definido na Teoria Fundamentada, que são: amostragem teórica, codificação e redação da teoria. No caso desta pesquisa a teoria é a estrutura conceitual.

A seleção inicial das fontes de dados utilizadas foi guiada pelo problema de pesquisa, conceitos sensibilizadores e questões da pesquisa (como apresentado no Capítulo 1). As demais iterações para coleta de dados foram direcionadas pelos resultados das análises realizadas. Isso foi feito até a saturação dos dados.

O levantamento das informações a respeito da auscultação de fissuras teve início a partir da realização de entrevistas e análises em campo, com o acompanhamento de engenheiros ou de inspetores de campo.

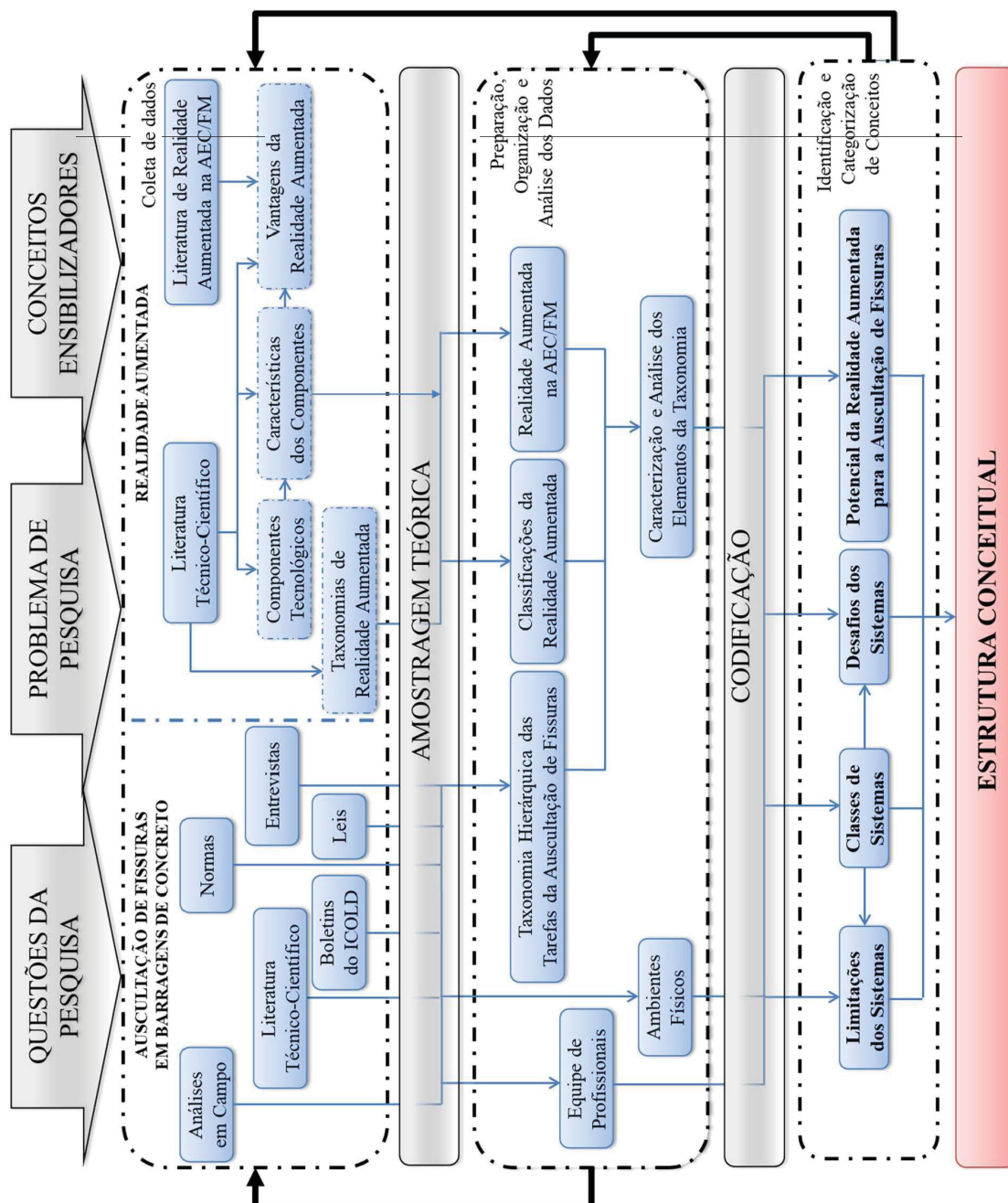
Embora o foco desta pesquisa seja a auscultação das fissuras, houve a necessidade em se obter conhecimento sobre barragens de concreto e também sobre segurança de barragens. Para o entendimento desses assuntos foi realizado o estudo exaustivo de vários boletins da ICOLD, das leis em vigor no Brasil, de normas da construção civil entre outros materiais encontrados na literatura técnico-científico. Muitos desses documentos foram indicados por engenheiros da área.

A Realidade Aumentada foi estudada basicamente por meio da literatura técnico-científico. Os estudos realizados possibilitaram identificar, entre outras coisas, os requisitos essenciais, componentes e vantagens da tecnologia.

A principal característica da Realidade Aumentada é oferecer interfaces avançadas entre humanos e computadores. Logo, foram também estudados assuntos correlatos ao desenvolvimento de sistemas considerando o projeto de IHC.

Outros assuntos, como “modelo de informação” e taxonomias relacionadas à Realidade Aumentada, à trabalhos realizados na AEC/FM e também ao comportamento humano, foram estudados. Isso porque essas taxonomias definem classificações de interesse para a pesquisa e estimulam reflexões importantes.

FIGURA 39 – MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO



FONTE: A Autora (2017).

Os dados coletados foram estruturados e representam a amostragem utilizada na pesquisa. Eles estão apresentados no capítulo 2.

O resultado da preparação, organização e análise dos dados é a codificação, nela os dados foram analisados e caracterizados. Vale lembrar que enquanto na pesquisa quantitativa

se aplicam categorias ou códigos pré-concebidos aos dados, na qualitativa os códigos são definidos a partir do que se observa nos dados e os códigos surgem à medida que os dados são analisados e interpretados.

A codificação estimula ideias e orienta o aprendizado. No âmbito desta pesquisa a codificação foi dividida em duas etapas:

- Etapa 1: preparação e organização dos dados, apresentada na seção 4.1;
- Etapa 2: análise dos dados, que se encontra na seção 4.2.

A teoria, neste caso a estrutura conceitual, é o resultado dos processos iterativos e exaustivos de “coleta”, “preparação e análise de dados” e “identificação, categorização e integração de conceitos”. Daí os conceitos tomaram corpo e forma (gráfica ou narrativa) e comunicaram ideias. As ideias que emergiram desta pesquisa estão descritas na seção 4.3.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados das etapas que sucedem a coleta de dados. Ele também apresenta uma discussão desses resultados e discorre sobre a validação da pesquisa.

### 4.1 PREPARAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A preparação e a organização dos dados da Realidade Aumentada consistiram em destacar as ideias relevantes dos dados. Já os dados a respeito da auscultação de fissuras em barragens de concreto foram primeiramente organizados em três partes distintas: os usuários, os ambientes e os trabalhos.

Os trabalhos para auscultar as fissuras de uma barragem foram identificados a partir dos dados coletados e foram organizados por meio da proposição de uma taxonomia hierárquica. Essa taxonomia classificou os trabalhos em quatro níveis de complexidade. Posteriormente, esses trabalhos foram caracterizados levando em conta as ideias relevantes que emergiram sobre a Realidade Aumentada, durante o processo de preparação e organização dos dados. A caracterização dos elementos da taxonomia desenvolveu sensibilidade aos dados que desse modo gerou condições para analisar a integração da tecnologia ao domínio.

#### 4.1.1 Síntese e Caracterização da Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada melhora a percepção do humano (usuário da tecnologia) sobre o ambiente real. Ela integra, de forma contextualizada, o conteúdo virtual e gera interfaces computacionais naturais, possibilitando experiências avançadas de interação.

O ambiente real para ser aumentado, precisa utilizar recursos tecnológicos que atendam aos requisitos essenciais da tecnologia. Existem diversos recursos que atendem a esses requisitos essenciais; no entanto a escolha de quais adotar em um determinado sistema, depende das características que são identificadas, numa análise centrada no usuário.

Na análise centrada no usuário é importante que sejam obtidas respostas para os seguintes questionamentos:

- Como, onde e quando o “aumento” deve ocorrer?
- Quais e como as informações devem ser dispostas e representadas no espaço de apresentação?

Quais os usuários interessados no aumento e suas individualidades?

Esses questionamentos esclarecem os seguintes pontos:

- Precisão do aumento;
- Iluminação do ambiente;
- Particularidades do objeto/local aumentado;
- Objetivo da tarefa e possível contribuição da tecnologia;
- Necessidade ou não de mobilidade do sistema;
- Relação entre o ponto de vista do usuário e do sistema.

Sobre os recursos tecnológicos essenciais para a tecnologia tem-se:

- A técnica de rastreamento pode utilizar um ou mais sensores, visão computacional ou ainda combinar sensores com visão computacional (híbrida);
- O método de visualização pode ser anexado à cabeça, ao alcance das mãos, baseado em telas ou espaciais;
- O mecanismo de interação pode ocorrer por meio de técnicas 2D, tangíveis, baseadas em gestos, de navegação, naturais ou multimodais.

As taxonomias de Realidade Aumentada buscam compreender e classificar as variações das características da tecnologia. O Quadro 6 apresenta uma síntese das dimensões definidas na literatura.

QUADRO 6 – DIMENSÕES DAS TAXONOMIAS DE REALIDADE AUMENTADA

DIMENSÃO	DESCRIÇÃO
Extensão do conhecimento sobre o ambiente aumentado	Precisão da sobreposição. Conhecimento necessário sobre o ambiente físico.
Fidelidade na representação do real e do virtual	Qualidade com que se percebe o mundo real. Quão real é o objeto virtual sobreposto.
Extensão da metáfora de presença	Variações de níveis de imersão do usuário no ambiente misturado.
Centricidade do visualizador	Variações de distância relativa do ponto de vista da cena e do usuário.
Congruência do controle do visualizador	Mapeamento do ponto de vista e das entradas do usuário
Foco da tarefa	Onde ocorre a tarefa, no ambiente físico ou no ambiente virtual.
Natureza do aumento	O aumento é para executar alguma tarefa física ou é para executar alguma tarefa mental.
Funcionalidade do aumento	Aumentar a percepção da realidade ou produzir ambientes artificiais.
Classificação do espaço de apresentação	Temporalidade, Dimensionalidade, Ponto de vista do quadro de referência, Montagem/Registro, Tipo de referência.

FONTE: A Autora (2017).

Um bom sistema de Realidade Aumentada emerge a partir das decisões guiadas por restrições entre as tarefas, os usuários e o sistema.

#### 4.1.2 Profissionais para Auscultação das Fissuras

Os trabalhos do domínio da auscultação de fissuras envolvem os seguintes profissionais, potenciais usuários dos sistemas de Realidade Aumentada:

- **Inspetores de Campo:** técnicos envolvidos principalmente com a coleta de dados no campo;
- **Engenheiros da Auscultação:** engenheiros preocupados com a auscultação da barragem como um todo. No caso da auscultação das fissuras, desenvolvem atividades específicas de análise e validação e gestão dos processos necessários para auscultar as fissuras;
- **Engenheiros da Análise de Comportamento:** engenheiros preocupados com a segurança da barragem. Eles fazem uso dos dados coletados e das informações produzidas por trabalhos da auscultação da barragem para desenvolverem análises e tomarem decisões;
- **Consultores Externos:** engenheiros com conhecimento e experiência em segurança de barragens, que prestam serviços às barragens. Eles validam os resultados obtidos pelo trabalho conduzido por profissionais internos ou podem desenvolver algum trabalho necessário, principalmente quando a barragem não possui profissional habilitado para desenvolver o que requisitado.

Os profissionais podem desempenhar um ou mais dos seguintes papéis em um trabalho:

- **Responsável:** profissional que coordena a condução do trabalho e responde pela sua realização;
- **Executor:** profissional que realiza o trabalho que é atribuído pelo responsável;
- **Consultado:** profissional experiente que aconselha sobre os trabalhos a serem realizados ou resultados obtidos de trabalhos;
- **Informado:** profissional interessado na realização de algum trabalho que supervisiona ou é comunicado a seu respeito.

#### 4.1.3 Ambientes Físicos para Auscultação das Fissuras

Os ambientes onde são realizados os trabalhos para auscultar as fissuras são divididos em **Campo** e **Escritório**. Campo de modo geral refere-se a locais não preparados situados na barragem. Considerando as formas de barragens de concreto descritas na seção 2.2, os locais

classificados como campo são ainda divididos em **Galerias**, **Campo a Jusante** e **Campo a Montante**. A seguir os tipos de campo e o tipo **Escritório** são caracterizados:

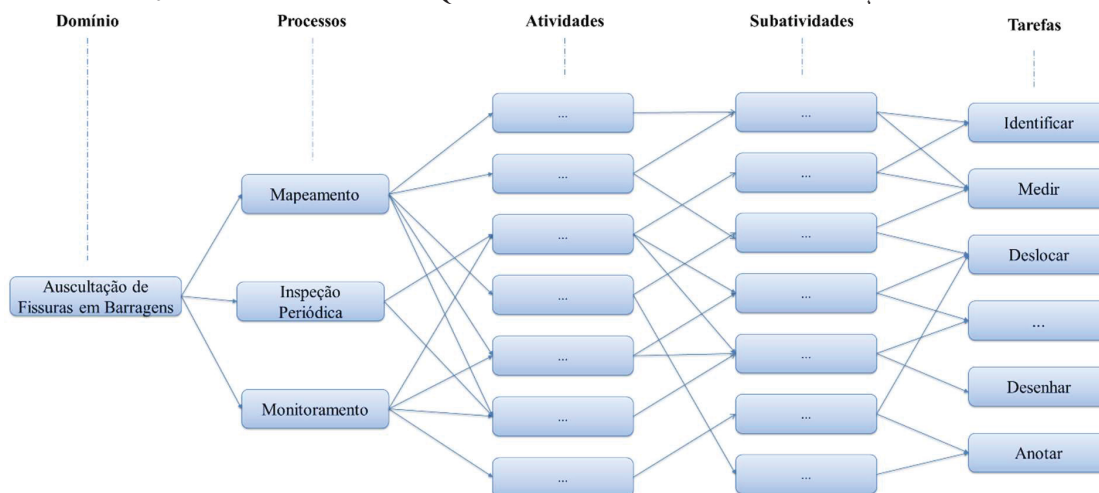
- **Campo a Jusante:** Local externo, sendo que a superfície fica exposta à ação do tempo e por isso constantemente sofre alterações devido à formação de musgos, por exemplo; o ambiente possui iluminação instável, sendo variante em relação à condição do tempo (ensolarado, chuvoso, nublado), a estação do ano (primavera, verão, inverno ou outono) e a hora do dia. Todas estas variáveis interferem na quantidade de luz incidente na superfície. Outra característica relevante deste ambiente é quanto à qualidade de interceptação dos sinais emitidos por sensores como o GPS. Estes sensores naturalmente em ambientes abertos apresentam precisão de metros. A qualidade piora ainda mais quando próximo às estruturas como barragens de concreto, pois elas são barreiras físicas que interferem podendo até bloquear a comunicação com os satélites;
- **Campo a Montante:** Ambiente submerso. O acesso às superfícies deste ambiente se dá por meio do uso de equipamentos de mergulho, ou por meio de equipamentos operados remotamente, preparados para realizar as atividades necessárias. A visibilidade das superfícies submersas é baixa e sofre interferência da quantidade de luz incidente, variando de acordo com a condição do tempo, estação do ano e hora do dia;
- **Galerias:** Ambiente interno a barragem. Geralmente possui pouca iluminação, mas pode ser melhorada por meio da instalação de fontes artificiais alternativas. Normalmente estas superfícies são expostas a ação do tempo em menor proporção que as demais. Por ser um local interno à estrutura de concreto, não é possível que os sensores interceptem sinais externos de satélites;
- **Escritório:** Ambiente interno, limitado, com iluminação estável, possível de ser preparado e configurado, conforme a necessidade.

#### 4.1.4 Trabalhos para Auscultação de Fissuras

A taxonomia hierárquica proposta classifica os trabalhos necessários no domínio da auscultação de fissuras em cinco níveis – Domínio, Processos, Atividades, Subatividades e Tarefas – conforme apresentado na Figura 40. Ela representa todo o trabalho operacional exigido no domínio, que é composto por processos realizados por meio de atividades que se

dividem em subatividades; as subatividades são compostas por tarefas realizadas para atender as necessidades do domínio.

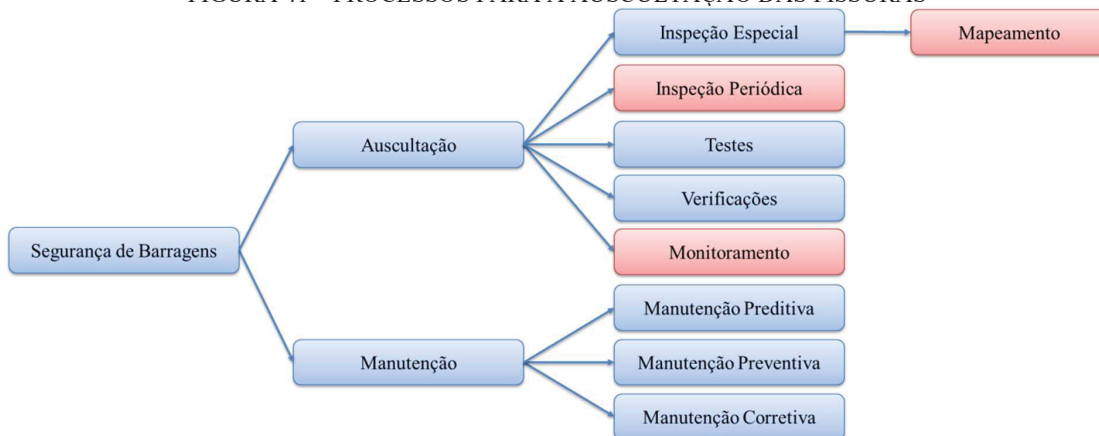
FIGURA 40 – TAXONOMIA HIERÁRQUICA DAS TAREFAS DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS



FONTE: A Autora (2016).

A auscultação das fissuras é realizada por meio de processos já consolidados no contexto da segurança de barragens, exigidos por normas e leis que regulamentam e fiscalizam as práticas. O subconjunto dos processos para auscultar barragens de concreto que discorrem para, entre outras coisas, auscultar fissuras são: **Inspeção Periódica**, **Mapeamento** e **Monitoramento**, conforme destacado na Figura 41.

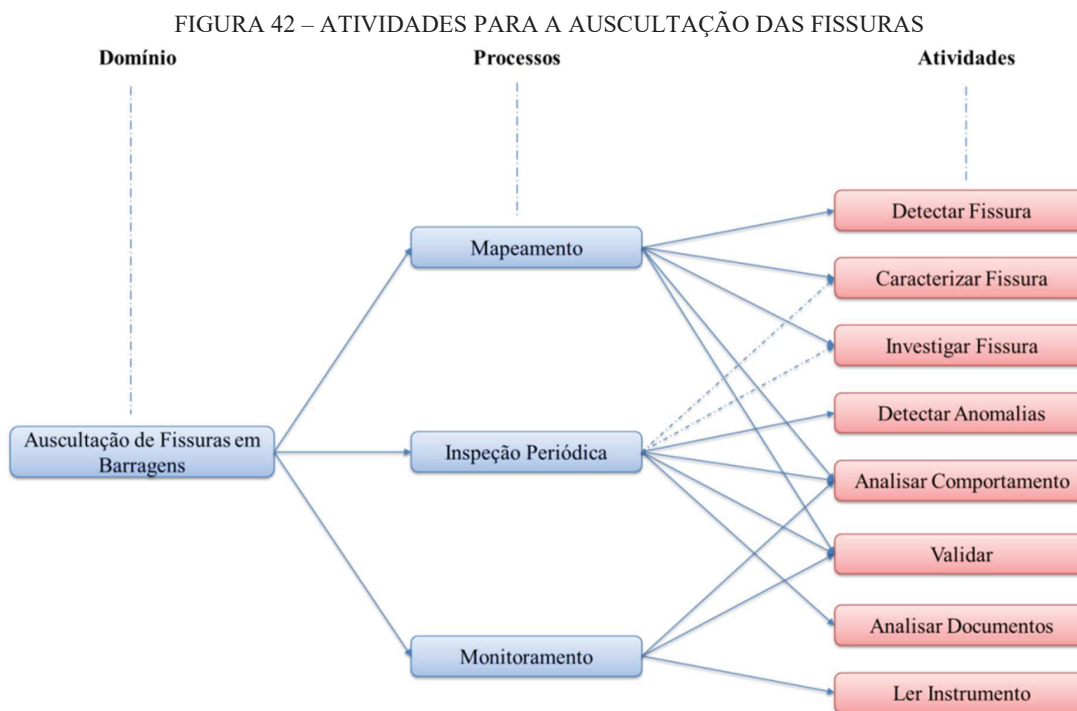
FIGURA 41 – PROCESSOS PARA A AUSCULTAÇÃO DAS FISSURAS



FONTE: A Autora (2016).

O **Mapeamento** é atendido por meio das atividades Detectar Fissura, Caracterizar Fissura, Investigar Fissura, Validar e Analisar Comportamento nesta ordem. Já para a **Inspeção Periódica** são realizadas as atividades Analisar Documentos, Detectar Anomalias, Caracterizar

Fissura, Investigar Fissura, Analisar Comportamento e Validar. Por fim, para o **Monitoramento** realizam-se as atividades Ler Instrumento, Validar e Analisar Comportamento. A Figura 42 apresenta os níveis Domínio, Processos e Atividades da taxonomia proposta.



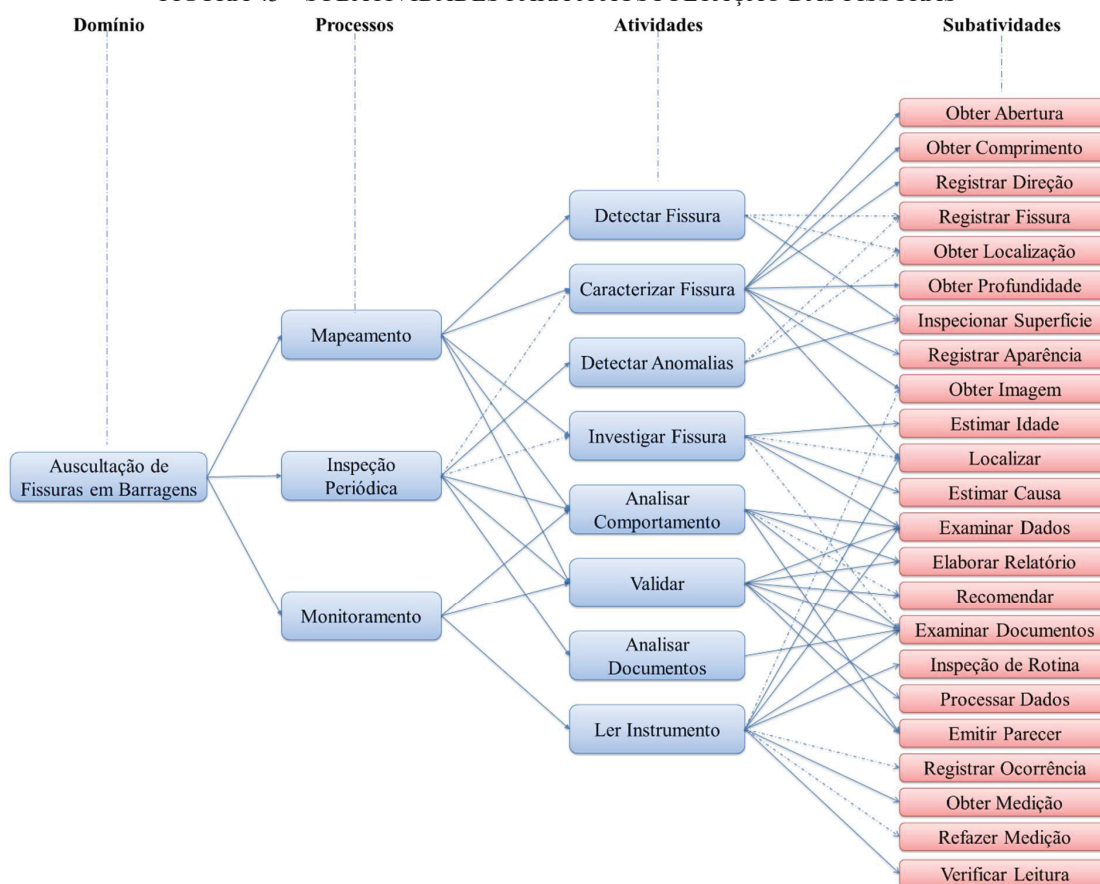
FONTE: A Autora (2016).

A taxonomia hierárquica proposta possui ainda um nível intermediário entre o nível das atividades e o nível das tarefas, nomeado de Subatividades. As subatividades estão destacadas na Figura 43 e listadas a seguir:

- **Detectar Fissura:** Inspecionar Superfície, Registrar Fissura e Obter Localização.
- **Caracterizar Fissura:** Localizar, Obter Abertura, Obter Comprimento, Obter Profundidade, Registrar Direção, Obter Imagem e Registrar Aparência.
- **Detectar Anomalias:** Inspecionar Superfície, Registrar Fissura e Obter Localização.
- **Investigar Fissura:** Localizar, Examinar Dados, Examinar Documentos, Estimar Idade e Estimar Causa.
- **Analisar Comportamento:** Examinar Dados, Examinar Documentos, Emitir Parecer, Recomendar e Elaborar Relatório.

- **Validar:** Examinar Dados, Examinar Documentos, Processar Dados, Emitir Parecer, Recomendar e Elaborar Relatório.
- **Analisar Documentos:** Examinar Documentos.
- **Ler Instrumento:** Localizar, Obter Medição, Examinar Dados, Examinar Documentos, Verificar Leitura, Refazer Medição, Registrar Ocorrência, Obter Imagem, Inspeção de Rotina.

FIGURA 43 – SUBATIVIDADES PARA A AUSCULTAÇÃO DAS FISSURAS



FONTE: A Autora (2016).

No último nível da taxonomia estão as tarefas identificadas para atender as subatividades. Elas são destacadas na Figura 44 e listadas a seguir:

- **Obter Abertura:** Medir e Anotar;
- **Obter Comprimento:** Medir e Anotar;
- **Registrar Direção:** Anotar;
- **Registrar Fissura:** Desenhar e Fotografar;
- **Obter Localização:** Medir e Anotar;

- **Obter Profundidade:** Medir e Anotar;
- **Inspeccionar Superfície:** Deslocar, Observar e Identificar;
- **Registrar Aparência:** Anotar;
- **Obter Imagem:** Fotografar;
- **Estimar Idade:** Sugerir e Anotar;
- **Localizar:** Deslocar, Procurar e Encontrar;
- **Estimar Causa:** Sugerir e Anotar;
- **Examinar Dados:** Procurar, Selecionar e Estudar;
- **Elaborar Relatório:** Preparar e Anotar;
- **Recomendar:** Anotar;
- **Examinar Documentos:** Procurar, Selecionar, Estudar;
- **Inspeção de Rotina:** Deslocar, Observar, Identificar, Comunicar;
- **Processar Dados:** Procurar, Selecionar, Preparar e Anotar;
- **Emitir Parecer:** Anotar;
- **Registrar Ocorrência:** Anotar;
- **Obter Medição:** Medir, Anotar;
- **Refazer Medição:** Medir, Comparar, Anotar;
- **Verificar Leitura:** Comparar.

As ligações das Figuras 37, 38 e 39, representadas por linhas tracejadas, representam trabalhos que dependem de fatos específicos para serem realizados.

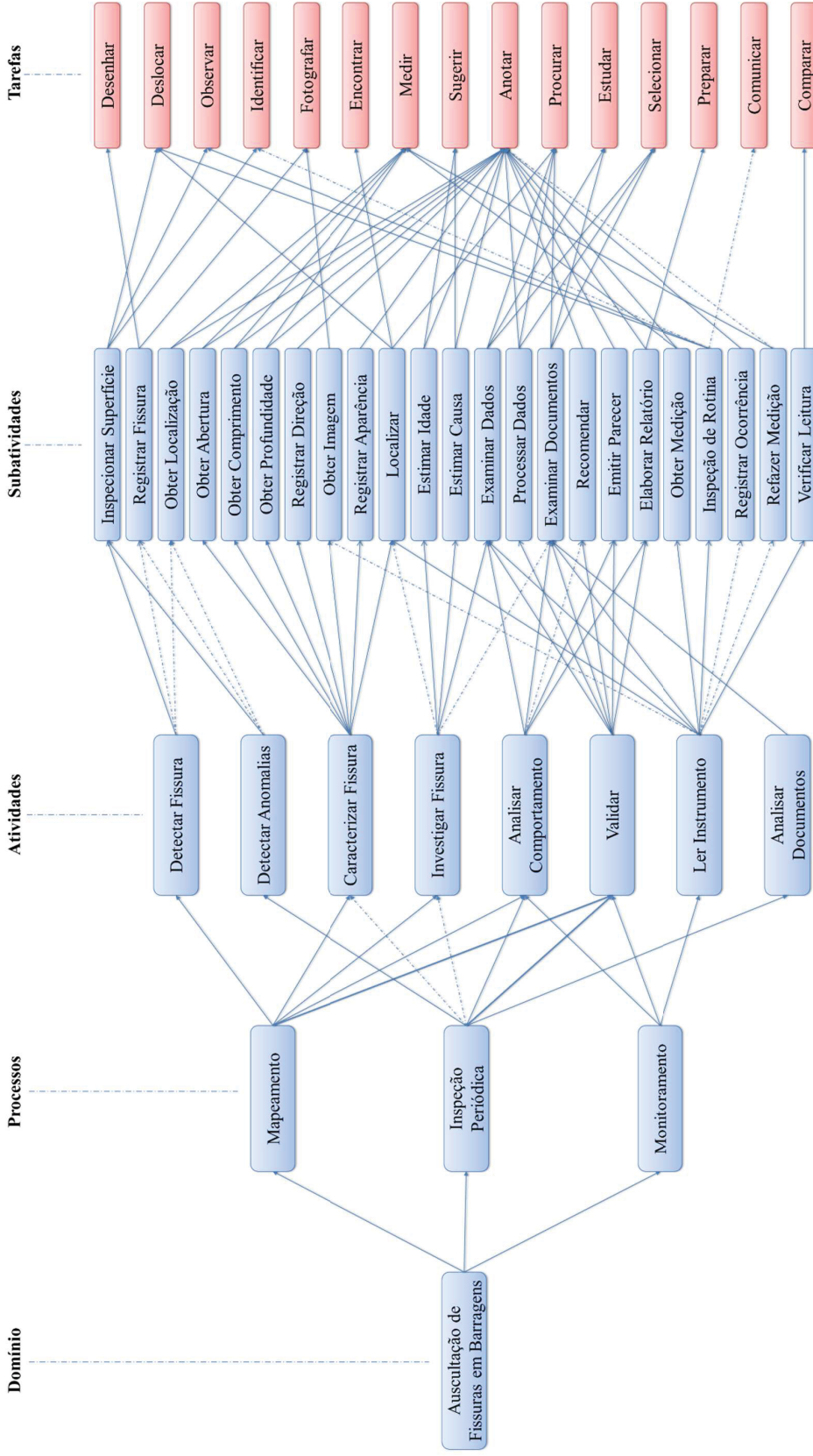
A seguir as práticas organizadas na taxonomia hierárquica, foram caracterizadas. Para isso utilizou-se os questionamentos apresentados no Quadro 7.

QUADRO 7 – QUESTÕES PARA CARACTERIZAÇÃO DOS TRABALHOS

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Para que</b> é realizado (objetivo)?</li> <li>• <b>Como</b>, de que maneira/modo é realizado?</li> <li>• <b>Onde</b>, em que ambiente é realizado?</li> <li>• <b>Quando</b>, em quais situações ou com que frequência é realizada?</li> <li>• <b>Quem</b>, quais os profissionais envolvidos?</li> </ul> |
|--|

FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 44 – TAXONOMIA HIERÁRQUICA PROPOSTA



FONTE: A Autora (2016).

#### 4.1.4.1 Caracterização dos Processos

Processo no âmbito da taxonomia proposta, é sinônimo de procedimento. O objetivo geral de auscultar as fissuras é atendido por meio da realização dos seguintes processos definidos por normas internacionais e exigidos por leis brasileiras: **Inspeções Periódicas, Monitoramento e Mapeamento.**

As **Inspeções Periódicas** e o **Monitoramento** são voltados para auscultar outras manifestações patológicas além de fissuras presentes nas estruturas. Ao contrário, o **Mapeamento** é exclusivamente para auscultar as fissuras. Ele faz parte do programa de Inspeção Especial. O Quadro 8 mostra a caracterização desses três processos guiados pelos questionamentos do Quadro 7.

QUADRO 8 – CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS

PROCESSO	Mapeamento	Objetivo	Identificar e caracterizar as fissuras presentes na estrutura
		Como	Por meio da execução do conjunto de atividades evidenciadas na Figura 42
Onde	CJ, CM, G ou ES		
Quando	Intervalos de tempo que variam de cinco a dez anos ou após a ocorrência de eventos específicos, como terremotos		
Quem	IC	Executor	
	EA	Responsável ou Executor	
	EC	Informado ou Consultor	
	CE	Informado ou Consultor	
Inspeção Periódica	Objetivo	Identificar manifestações patológicas na estrutura e caracterizá-las	
	Como	Por meio de um conjunto de atividades evidenciadas na Figura 42.	
Onde	CM, CJ, G ou ES		
Quando	Intervalos de tempo que variam de semestral a anual.		
Quem	IC	Executor	
	EA	Responsável ou Executor	
	EC	Informado ou Consultor	
	CE	Informado ou Consultor	
Monitoramento	Objetivo	Identificar variações do comportamento da estrutura, por meio de instrumentos instalados.	
	Como	Por meio de um conjunto de atividades evidenciadas na Figura 42.	
Onde	CJ, G ou ES		
Quando	Depende do risco oferecido pela estrutura e da ocorrência de eventos danosos ou não (variam de dias a meses).		
Quem	IC	Executor	
	EA	Responsável ou Executor	
	EC	Informado ou Consultor	
	CE	Informado ou Consultor	

**Legenda:**

CE: Consultor Externo

IC: Inspetor de Campo

EA: Engenheiro da Auscultação

EC: Engenheiro de Análise do Comportamento

CJ: Campo a Jusante

CM: Campo a Montante

G: Galerias

ES: Escritório

FONTE: A Autora (2017).

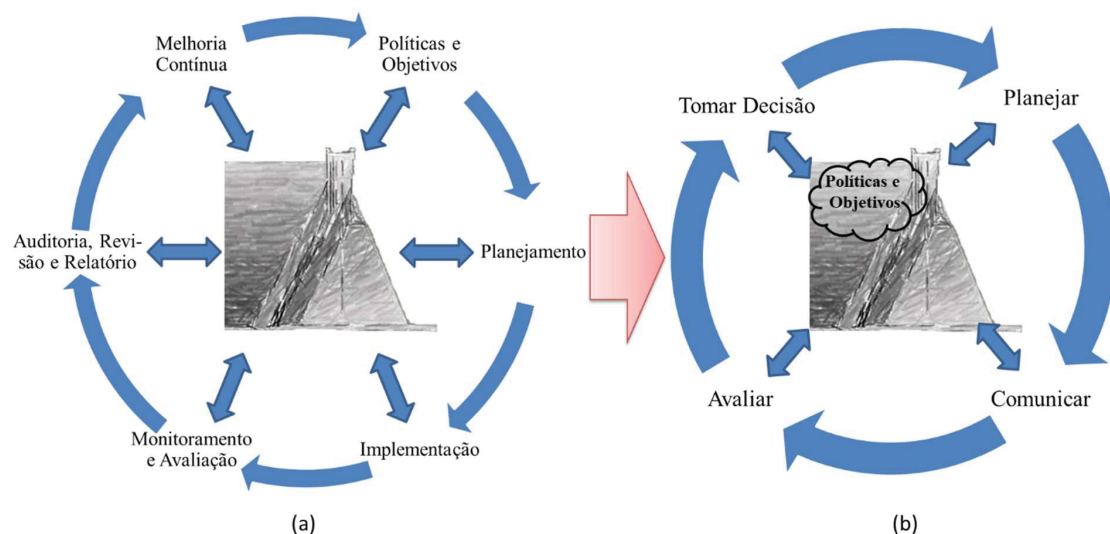
Cada processo é planejado e realizado de maneira independente, numa periodicidade determinada em função dos riscos oferecidos pela barragem e dimensão do reservatório.

Conforme pode ser observado no Quadro 8 a equipe de profissionais coopera entre si para realizar os processos. Enquanto o **Responsável** planeja e faz a gestão, o **Executor** realiza atividades do processo. O **Consultor**, quando requisitado, recomenda, aconselha ou opina a respeito do processo; ele é um profissional com experiência reconhecida na área de interesse. Por fim o **Informado** é o interessado na realização de um processo; ele supervisiona, é comunicado da realização, conclusão ou de decisões que são tomadas.

O planejamento é feito pelo engenheiro da auscultação, que desenvolve sistematicamente, nesse caso, o papel de gestor. No âmbito da segurança de barragens a gestão determina quem, quando e como as atividades dos processos estabelecidos por normas internacionais devem ocorrer de modo que os riscos impostos sejam devidamente gerenciados.

Considerando o método recomendado pela ICOLD (Figura 45 (a)), descrito na subseção 2.2.2 e considerando também as características dos processos para auscultar as fissuras, foi proposta uma simplificação, conforme apresentado na Figura 45 (b).

FIGURA 45 –(A) ESTRUTURA GERAL DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS; (B) MÉTODO CÍCLICO PROPOSTO PARA GESTÃO DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS.



FONTE: Adaptada da ICOLD (2013).

O método simplificado é composto por quatro ações:

- **Planejar:** Elabora cronograma para realização de processos; atribui atividades e papéis aos participantes; estabelece metas; entre outros;
- **Comunicar:** Informa aos membros da equipe as atribuições, metas, papéis, entre outros;

- **Avaliar:** acompanha o que foi ou está sendo realizado do processo verificando constantemente se condiz com o que foi planejado;
- **Tomar Decisões:** analisa os resultados do que está sendo ou foi realizado e faz encaminhamentos.

As ações da gestão são conduzidas do escritório. Cada ação utiliza um conjunto de informações que foram identificadas e apresentadas no Quadro 9.

QUADRO 9 – INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO DE PROCESSOS

AÇÕES	INFORMAÇÕES		AMBIENTE/OBJETO ASSOCIADO
	QUAIS	OBJETIVO	
Planejar	Documentos internos que definem: compromissos, valores, missão, prioridades, metas, objetivos, política.	Tomar conhecimento. Recordar.	Consulta associada à segurança das barragens, mas desvinculada de qualquer ambiente ou objeto.
	Documentos externos (normativas e leis).		
	Registro das atividades históricas, Relatórios, Pareceres, entre outros.	Tomar decisões (identificar prioridades, profissionais experientes, perigos e falhas cometidas anteriormente buscando a melhoria contínua).	Barragem (Galerias, Estrutura à Jusante ou à Montante).
Comunicar	Plano elaborado (metas, cronograma, atividades, profissionais/ responsabilidades atribuídas).	Compartilhar plano com a equipe (conscientizar a equipe sobre o plano e responsabilidades).	
Avaliar	Plano elaborado e registro do que executado do plano	Comparar (executado e o que foi planejado). Acompanhar o que está sendo executado.	
Tomar Decisões		Tomar decisões (alterar plano).	

FONTE: A Autora (2017).

#### 4.1.4.2 Caracterização das Atividades

Atividades são funções específicas do domínio; elas representam partes do trabalho necessário para conclusão de um processo e, portanto, o objetivo de uma atividade corresponde a uma parcela do objetivo definido para um processo.

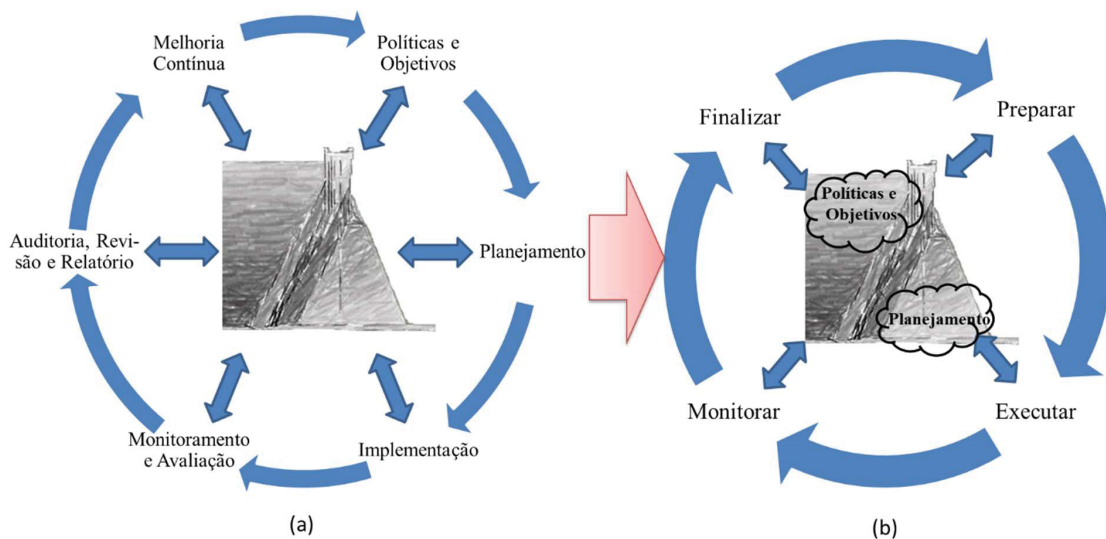
As atividades foram caracterizadas conforme mostrado no Quadro 10. Na caracterização foi evidenciado além do objetivo, o modo como cada atividade é tradicionalmente efetuada, os locais onde podem ser realizadas, os profissionais envolvidos e seus respectivos papéis na atividade.

Cada processo necessário é composto por um conjunto de atividades inter-relacionadas, (conforme mostrado na Figura 42) planejadas e executadas individualmente.

Para conduzir a execução de uma atividade, foi proposta uma simplificação do método de gestão recomendado pela ICOLD (Figura 46 (a)). Conforme é apresentado na Figura 46 (b), o método cíclico resultante da simplificação, divide as ações necessárias para realizar uma atividade na seguinte sequência:

- **Preparar:** de acordo com o que é planejado realizar, o profissional que irá executar a atividade precisa se organizar/preparar antes de desenvolver a atividade;
- **Executar:** o profissional desenvolve a atividade;
- **Monitorar:** enquanto desenvolve a atividade, o profissional constantemente verifica se condiz com o que foi planejado;
- **Finalizar:** o profissional confere o que foi planejado com o que foi realizado antes de comunicar o responsável.

FIGURA 46 - (A) ESTRUTURA GERA DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS; (B) MÉTODO CÍCLICO PROPOSTO PARA EXECUÇÃO DE ATIVIDADES.



FONTE: Adaptada de WANG et al. (2013b).

QUADRO 10 – CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

ATIVIDADE	OBJETIVO	COMO	ONDE	QUEM			
				(ESTRUTURA ORGANIZACIONAL)	IC	EA	EC
Detectar Fissura	Identificar visualmente uma fissura presente na estrutura, determinar sua localização e capturar imagens.	Desloca-se diante da superfície inspecionando-a, usualmente utilizando uma lupa a fim de perceber sinais visuais compatíveis com os de uma fissura. Caso ela ainda não tenha sido registrada, obtêm imagens e por meio de alguma convenção estabelecida, toma as medidas pertinentes para registrar sua localização e posição.	CJ, CM, G	Re, Ex	In, Co	Co	Co
Caracterizar Fissura	Coletar medidas (abertura, comprimento e extensão) da fissura, definir sua direção e aparência e a registrar estas informações.	Desloca-se até o local da fissura, observa buscando definir sua direção e aparência. Realiza as medições necessárias usando ferramentas apropriadas para tal. As definições e medições obtidas são registradas utilizando alguma convenção estabelecida pela organização.					
Investigar Fissura	Examinar as características da fissura (direção, aparência, abertura, comprimento e profundidade) juntamente com a sua localização na superfície e outros dados relacionados para então estimar a idade e a causa da fissura e registrar estas informações.	Procura, seleciona e examina os dados, informações, registros, relatórios e outros dados relacionados a fissura que auxilie na realização da investigação a respeito da idade e da causa de uma fissura. Utilizando alguma convenção estabelecida registra os apontamentos.	ES	Co	Re, Ex	Co	Co
Detectar Anomalias	Identificar visualmente uma anomalia. Caso seja uma fissura, determinar a sua localização e capturar imagens.	Desloca-se diante da superfície inspecionada, observa a superfície a fim de perceber sinais visuais compatíveis com os apresentados por uma anomalia. Caso seja uma fissura, utilizando uma câmera fotográfica obtêm imagens e ainda utilizando alguma convenção estabelecida toma as medidas pertinentes para registrar a sua localização.	CJ, CM, G	Re, Ex	In, Co	Co	Co
Analisar Comportamento	Estudar os dados coletados ao longo do tempo, identificar riscos e embasar recomendações técnicas.	Procura, seleciona e estuda (dados, informações, registros, relatórios e outros documentos) com intuito de entender e explicar o comportamento. Utilizando alguma convenção estabelecida toma nota dos riscos identificados e das recomendações.	ES	Co	Re, Ex	Re, Ex	Co
Analisar Documentos	Estudar documentos, normas, manuais e relatórios da barragem pertinentes.	Procura, seleciona e estuda documentos, normas, manuais e relatórios da barragem pertinentes, com objetivo de tomar ciência e adquirir o conhecimento necessário para apoiar o desenvolvimento de outras atividades.	ES, CJ, G	Re, Ex	Re, Ex	Re, Ex	
Ler Instrumento	Medir e verificar o valor apresentado por um instrumento instalado; identificar anomalias; inspecionar visualmente o local ao entorno e realizar registros e comunicações quando for necessário.	Desloca-se até o local onde o instrumento está instalado, mede e verifica o valor apresentado pelo instrumento instalado a fim de identificar anomalias; se desloca no entorno do instrumento e inspeciona rotineiramente de maneira visual a fim de perceber alguma anomalia. Caso perceba alguma, realiza registros seguindo alguma convenção estabelecida para tal e no caso comunica seguindo alguma convenção também estabelecida.	CJ, G	Re, Ex	In	In	
Validar	Examinar os dados coletados; processá-los; gerar desenhos (altimetria e planimetria) e gráficos.	Procura, seleciona e examina os dados coletados; processa-os utilizando algum mecanismo conveniado; gera desenhos e gráficos, seguindo alguma convenção estabelecida (altimetria e planimetria), para obter recursos necessários para determinar se o comportamento é normal ou não. Caso seja normal, de alguma forma convenionada comunica aos interessados que o dado é válido, caso contrário invalida o dado e determina as próximas ações, deixando tudo registrado.	ES	In	Re, Ex	In, Co	In, Co

**Legenda:**

CJ: Campo a Jusante  
 CM: Campo a Montante  
 G: Galerias  
 ES: Escritório

IC: Inspetor de Campo  
 EA: Engenheiro da Auscultação  
 EC: Engenheiro de Análise do Comportamento  
 CE: Consultor Externo

FONTE: A Autora (2017).

Re: Responsável  
 Ex: Executor  
 In: Informado  
 Co: Consultado

#### 4.1.4.3 Caracterização das Subatividades

Uma atividade pode ainda ser dividida em agrupamentos de trabalhos chamados de subatividades. Esses agrupamentos correspondem a um nível intermediário entre as atividades e as tarefas necessárias para auscultar fissuras.

Embora as subatividades correspondam a unidades de trabalho, todas que compõem uma atividade, são conduzidas sequencialmente por um mesmo profissional, num mesmo local.

Desse modo a caracterização das subatividades evidenciam o objetivo e como são realizadas, conforme mostrado no Quadro 12.

#### 4.1.4.4 Caracterização das Tarefas

Tarefa é a menor unidade de trabalho considerada na taxonomia proposta. Ela representa uma porção do trabalho físico (interações com o ambiente) e mental (interações internas envolvendo o sistema perceptivo e cognitivo) que o usuário precisa realizar numa subatividade.

O modo como os trabalhos acontecem depende de diversos fatores extrínsecos, como características do ambiente onde a tarefa é realizada e recursos disponíveis para auxiliar o usuário a desenvolvê-las. O modo como os trabalhos acontecem depende também de fatores intrínsecos ao usuário, como habilidades, experiência, conhecimento, entre outras.

As tarefas do domínio foram caracterizadas, com base nos questionamentos do Quadro 7 e apresentadas no Quadro 13. Além disso, essas tarefas foram classificadas quanto às unidades de comportamento da taxonomia de Berliner et al. (1964), e mostradas no Quadro 11.

QUADRO 11 – CLASSIFICAÇÃO DAS TAREFAS QUANTO À TAXONOMIA DE BERLINER ET AL.

TAREFA	COMPORTAMENTO	CLASSE DE ATIVIDADE	TIPO DE PROCESSO
Desenhar	Registrar	Não definida	Comunicação
Fotografar			
Anotar			
Comunicar	Informar		
Deslocar	Mover	Simple e Discreta	Motor
Observar	Observar	Procurar e Perceber informação	Perceptivo
Estudar	Inspecionar		
Identificar	Identificar		
Encontrar	Localizar	Identificar objetos, eventos ou ações	
Procurar			
Medir	Calcular	Solução de problemas e tomada de decisão	Cognitivo
Sugerir	Decidir		
Selecionar	Escolher		
Preparar	Decidir		
Comparar	Comparar		

FONTE: A Autora (2017).

QUADRO 12 – CARACTERIZAÇÃO DAS SUBATIVIDADES

SUBATIVIDADE	OBJETIVO	COMO
Obter Abertura	Medir a abertura de uma fissura e registrar o valor.	Utilizando-se de uma régua graduada, também chamada de fissurometrô, posiciona sobre a fissura e por meio de comparação obtém-se a medida da abertura. O valor é registrado segundo o padrão estabelecido na organização, mas normalmente é feito em papel e transferido para a base de dados de um sistema computacional, em escritório, num outro momento.
Obter Comprimento	Medir o comprimento de uma fissura e registrar o valor.	Utiliza-se uma trena, que é posicionada numa extremidade da fissura (local de início da fissura) e a abre até a outra extremidade da fissura (ponto final da fissura). O valor apresentado na trena é registrado segundo o padrão estabelecido na organização. Normalmente, assim como a abertura, o comprimento é anotado em papel e transferido para a base de dados de um sistema computacional, em escritório, num outro momento.
Registrar Direção	Classificar a fissura quanto a sua direção (horizontal, vertical ou diagonal) e registrar.	O profissional observa visualmente a fissura, e por meio da sua experiência determina sua direção e toma nota, geralmente num papel, obedecendo a convenção estabelecida na empresa e transferido para a base de dados de um sistema computacional, em escritório, num outro momento.
Registrar Fissura	Catalogar propriedades visuais da fissura.	Geralmente de posse de uma câmera fotográfica, o profissional obtém imagens digitais da fissura e também faz o desenho da mesma de modo a obter uma representação do contorno e do formato da fissura. O ideal é que estas informações sejam transferidas para a base de dados por meio de um sistema computacional ou então deve ser armazenada utilizando alguma convenção estabelecida, de modo relacionado aos demais dados da fissura.
Obter Localização	Obter as medições que definem a localização relativa da fissura na estrutura e registra-las.	Utilizam alguma convenção estabelecida pela organização para identificar o local ou posição da fissura na superfície; o profissional realiza as devidas medições e as registram segundo a convenção estabelecida.
Obter Profundidade	Medir a profundidade (extensão) da fissura e registrar o valor.	Depende da técnica convencional pela organização para tal ou até da condição e risco oferecido pela fissura a ser medida. Feito a medição o valor é registrado segundo a convenção estabelecida.
Inspeccionar Superfície	Observar a superfície em busca de sinais que identifique a existência de uma fissura.	Desloca-se diante da superfície a ser inspecionada, usualmente utilizando uma lupa. A superfície é observada a fim de identificar sinais visuais que indiquem a presença de alguma fissura.
Registrar Aparência	Classifica a fissura quanto ao seu aspecto exterior e registrar.	Observando algumas características visuais da fissura, define sua aparência tomando como base seu conhecimento técnico.
Obter Imagem	Registrar a fissura por meio de fotografias.	Utilizando-se de uma câmera fotográfica, obtém imagens da fissura.
Estimar Idade	Determinar a idade aproximada, sugerir a provável idade da fissura.	Examinam os dados, informações, registros, relatórios relacionados a fissura para estimar sua idade e utilizando alguma convenção estabelecida na organização registra.
Localizar	Encontrar uma fissura específica.	Desloca-se diante da superfície a procura de algo (fissura ou instrumento) até encontrar.
Estimar Causa	Determinar a causa aproximada, sugerir o que pode ter causado a fissura.	Examinam dados, informações, registros, relatórios relacionados a fissura para estimar sua causa e utilizando alguma convenção estabelecida registra.
Examinar Dados	Explorar dados a fim de aceitá-los como coerente com o contexto.	Diante de um conjunto de dados, os observa, analisa levando em conta seu conhecimento, a fim de poder usá-los para compreender ou confirmar algum acontecimento.
Elaborar Relatório	Preparar uma descrição a respeito do que foi analisado ou validado.	Utilizando alguma convenção estabelecida tanto de modelo (ordem e conteúdo) quanto de formato (digital ou em formulário impresso), elabora um texto que registre a opinião e conclusão a respeito do que foi validado ou analisado.
Recomendar	Fazer sugestões, orientação a respeito do resultado da análise ou validação realizada.	Utilizando alguma convenção estabelecida elabora sugestões a respeito do que foi validado ou analisado e as registra.
Examinar Documentos	Explorar documentos buscando se familiarizar com detalhes técnicos da estrutura, procedimentos empregados, registros anteriores, etc.	Diante de documentos, os observa, analisa levando em conta seu conhecimento, a fim de poder usá-los para compreender ou confirmar algum acontecimento.
Inspeção de Rotina	Examinar visualmente um local no momento de realizar outras tarefas como leitura de instrumentos.	Desloca-se diante da superfície ao seu entorno observando rapidamente a fim de identificar sinais de novas anomalias na estrutura.
Processar Dados	Transformar dados em informação.	Procura e seleciona um conjunto de dados de interesse e os manipula gerando novas informações. Utilizando alguma convenção estabelecida registra esta nova informação.
Emitir Parecer	Apresentar a opinião sobre o resultado obtido (instrumentação ou inspeções).	Utilizando alguma convenção estabelecida registra sua opinião a respeito de algum resultado obtido.
Registrar Ocorrência	Anotar, registrar anomalias.	Quando numa inspeção de rotina detectar novas anomalias ou comportamento suspeito da estrutura, o evento é registrado utilizando alguma convenção estabelecida pela organização.
Obter Medição	Registrar o valor apresentado por um instrumento.	Utilizando instrumento apropriado, posiciona-o no instrumento a ser lido e verifica o valor apresentando. Utilizando algum padrão estabelecido na organização, o valor é registrado. Normalmente é feito em papel e transferido para a base de dados de um sistema computacional, em escritório, num outro momento.
Refazer Medição	Repetir a medição de um instrumento.	Utilizando instrumento apropriado, posiciona-o novamente no instrumento a ser lido e verifica o valor apresentando. Utilizando o padrão estabelecido na organização, o valor é registrado. Normalmente é feito em papel e transferido para a base de dados de um sistema computacional, em escritório, num outro momento.
Verificar Leitura	Conferir se o valor lido de um instrumento aparenta ser normal	De posse de dois valores obtidos em leitura distinta, compara-os para identificar anomalias de leitura ou de comportamento da estrutura ou até do instrumento.

Fonte: A. Autora (2017).

QUADRO 13 – CARACTERIZAÇÃO DAS TAREFAS

TAREFA	OBJETIVO	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM (ESTRUTURA ORGANIZACIONAL)			
					IC	EA	EC	CE
Desenhar	Registrar o contorno da fissura.	Depende do protocolo adotado na organização. Uma forma seria reproduzir o desenho em papel sobre uma impressão da vista da estrutura: observando visualmente, tentando manter a escala e formato do desenho próximo da realidade.	CJ, CM, G	Detectar Fissura e Anomalias	Re, Ex	In, Co	Co	Co
Deslocar	Mover-se para um local ou para uma posição	O profissional se desloca no ambiente real. Para ele chegar ao local ou a posição desejada ele utiliza informações que indicam o local ou posição que ele vai. A maneira como estas informações são fornecidas para o profissional depende dos recursos tecnológicos utilizados para armazenar as informações (relatórios, formulários manuais ou impressos, banco de dados, entre outros).	ES, CJ, G, CM	Detectar Fissuras, Anomalias, Caracterizar e Investigar Fissuras e Ler Instrumento.	Co, Re, Ex	Ex, Re, In, Co	In, Co	Co
Observar	Olhar atentamente para uma superfície procurando algo.	O profissional observa a superfície ou local visualmente de maneira atenta e com base na sua experiência em busca de sinais de algo ainda não registrado.	ES, CJ, G, CM	Detectar Fissuras e Anomalias e Ler Instrumento	Re, Ex	In, Co	In, Co	Co
Identificar	Reconhecer, estabelecer a identidade de algo.	O profissional reconhece algo do seu interesse, que ainda não possui uma identificação.	CJ, CM, G	Detectar Fissuras e Anomalias e Ler Instrumento	Re, Ex	In, Co	In, Co	Co
Fotografar	Registrar a imagem de algo.	O profissional, munido de alguma câmera fotográfica, captura a imagem.	CJ, CM, G	Detectar Fissuras e Anomalias, Caracterizar Fissuras e Ler Instrumento.	Re, Ex	In, Co	In, Co	Co
Encontrar	Achar algo que estava procurando.	O profissional reconhece algo com base na sua aparência, localização ou identificação, já conhecida por meio de acesso a dados e informações disponíveis em relatórios impressos ou em base de dados acessíveis digitalmente, de acordo com o modo que é mantido e acessível.	ES, CJ, G, CM	Caracterizar Fissura e Ler instrumento	Re, Ex	In, Co	In, Co	Co
Medir	Determinar a grandeza, a medida de algo.	Toma as medidas utilizando instrumentos apropriados para tal.	CJ, CM, G	Detectar Fissura e Anomalias, Caracterizar Fissuras e Ler Instrumento.	Re, Ex	In, Co	In, Co	Co
Sugerir	Apresentar expor uma ideia ou opinião a respeito de algo.	Tendo acesso aos dados coletados e registrados em relatórios ou sistemas computacionais, o profissional os estuda e apresenta sua ideia ou opinião a respeito de algo que tem experiência, gerando novas informações a serem armazenadas (em relatórios ou em banco de dados, por meio de sistemas computacionais).	ES	Investigar Fissura.	Co	Ex, Re	Co	Co
Anotar	Tomar nota, registrar algo.	Dados ou informações obtidas são registradas seguindo alguma convenção estabelecida.	ES, CJ, G, CM	Detectar Fissura e Anomalias, Caracterizar ou Investigar Fissuras, Ler Instrumento e Validar.	Ex, Re, In, Co	Ex, Re, In, Co	In, Co	In, Co
Procurar	Tentar encontrar, buscar algo.	O profissional observa visualmente de maneira atenta em busca de algo específico já conhecido, registrado.	ES, CJ, G, CM	Caracterizar e Investigar Fissuras, Analisar Documentos, Validar, Ler Instrumento e Analisar Comportamento.	Ex, Re, In, Co	Ex, Re, In, Co	In, Co	In, Co
Estudar	Investigar minuciosamente algo.	Os dados e as informações relacionados ao contexto são estudados considerando as condições apresentadas e a experiência do profissional acumulada para compreender o que está ocorrendo.	ES, CJ, G	Investigar Fissura, Analisar Comportamento, Validar, Ler Instrumento e Analisar Documentos.	Ex, Re, In, Co	Ex, Re, In, Co	In, Co	In, Co
Selecionar	Escolher algo.	Selecionam-se dados ou informações relacionadas ao que vai ser investigado, estudado ou preparado. A forma como estes dados são pesquisados e acessados depende dos recursos utilizados para armazená-los e disponibilizá-los (relatórios ou sistema computacional).	ES, CJ, G	Investigar Fissura, Analisar Comportamento, Validar, Ler Instrumento e Analisar Documentos.	Ex, Re, In, Co	Ex, Re, In, Co	In, Co	In, Co
Preparar	Ordenar, estruturar ideias a respeito de algo.	Os resultados e argumentos da análise ou pareceres das validações, são mentalmente produzidos.	ES	Análise do Comportamento e Validar.	Co	Ex, Re	Ex, Re	Co
Comunicar	Transmitir, informar algo a alguém.	Quando algo de anormal é detectado, é feito um comunicado ao superior responsável. Para isso é utilizado algum protocolo estabelecido (relatório impresso, e-mail, sistema computacional ou outro).	CJ, G	Ler Instrumento	Re, Ex, In	Ex, Re, In	In, Co	In, Co
Comparar	Confrontar, verificar diferenças e semelhanças entre dois objetos, dados ou duas informações.	O valor tomado em uma nova leitura é comparado com o valor de leituras anteriores para validação do valor obtido.	CJ, G	Ler Instrumento	Re, Ex, In	Ex, Re, In	In, Co	In, Co

Legenda:

CJ: Campo a Jusante  
 CM: Campo a Montante  
 G: Galerias  
 ES: Escritório

IC: Inspetor de Campo  
 EA: Engenheiro de Auscultação  
 EC: Engenheiro de Análise do Comportamento  
 CE: Consultor Externo

Re: Responsável  
 Ex: Executor  
 In: Informado  
 Co: Consultado

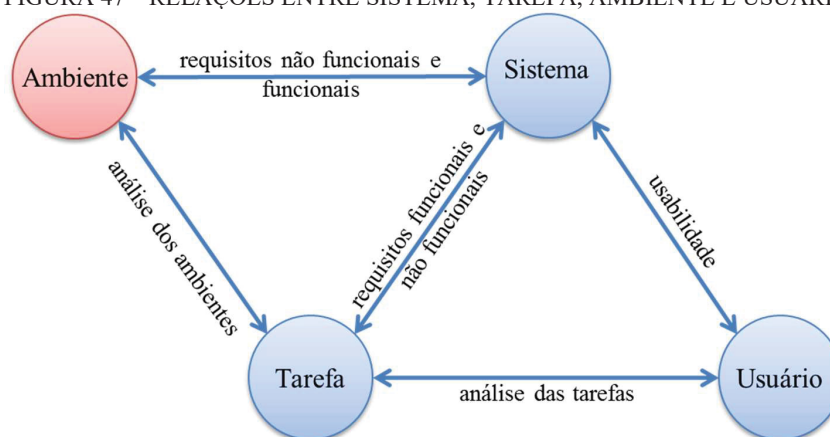
FONTE: A Autora (2017).

## 4.2 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados tem como objetivo identificar os benefícios que a tecnologia pode proporcionar ao domínio de trabalho, as limitações e os desafios a serem superados.

Por meio de uma avaliação crítica da afirmação feita por Sandor e Klinker (2007)<sup>13</sup>, sob a ótica das características necessárias para escolha dos recursos tecnológicos, sugere-se estendê-la conforme mostra a Figura 47. O motivo é deixar em evidencia que para obter bons sistemas de Realidade Aumentada, as escolhas dos recursos tecnológicos devem considerar as restrições que emergem da relação do ambiente com a tarefa e do ambiente com o sistema a ser desenvolvido, que vai além do que Sandor e Klinker (2007) definiram. O Quadro 14 descreve estes novos relacionamentos propostos.

FIGURA 47 – RELAÇÕES ENTRE SISTEMA, TAREFA, AMBIENTE E USUÁRIO



FONTE: Produzida pela autora com base em SANDOR; KLINKER (2007).

---

<sup>13</sup> [...] um bom sistema de Realidade Aumentada é resultado de decisões guiadas por restrições provenientes do relacionamento entre as tarefas, os usuários e o sistema.

QUADRO 14– RELACIONAMENTO ENTRE TAREFA, AMBIENTE E SISTEMA

RELACIONAMENTO	DESCRIÇÃO
Ambiente-Sistema	As características do ambiente onde o sistema é utilizado interferem no comportamento das técnicas de rastreamento; desse modo, essas características são consideradas na escolha da técnica de rastreamento adotada. Exemplos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se a iluminação do ambiente é instável ou precária, as técnicas de rastreamento da classe de Visão Computacional se tornam instáveis;</li> <li>• Em ambientes úmidos ou com ruídos: alguns sensores não se comportam adequadamente.</li> </ul>
Tarefa-Ambiente	As tarefas são realizadas em diversos tipos de ambientes. As características dos ambientes e os requisitos das tarefas, ressaltam as dificuldades para realizá-las e fomentam reflexões sobre como a tecnologia poderia inovar o modo como elas são realizadas.

FONTE: A Autora (2017).

A respeito do domínio e da tecnologia, tem-se que:

- A segurança das barragens é um fator crítico e auscultar as fissuras é imprescindível;
- Sistemas de Realidade Aumentada adotam técnica de rastreamento, método de interação e método de visualização.

Levando em conta as características da Realidade Aumentada e os trabalhos do domínio identificados na taxonomia proposta, foram definidas as seguintes dimensões para classificar as tarefas e as atividades:

- **Ambiente de uso:** dimensão relacionada com a atividade. Ela classifica o ambiente de uso quanto às seguintes variáveis:
  - Tipo: Interno (In), Externo (Ex), Interno e Externo (IE) ou Submerso (Su);
  - Iluminação: embora em alguns ambientes seja evidente as características da iluminação, foram consideradas duas variáveis para classificá-los:
    - Variação: Dinâmica (Di) quando varia de modo independente ou Estável (Est) se corresponde a um local preparado;
    - Qualidade: classifica a iluminação quanto ao seu grau de visibilidade que pode ser classificada em Ótima (Ot), Boa (Bo) ou Ruim (Ru);

Os ambientes do domínio da auscultação de fissuras são Campo a Jusante (CJ), Campo a Montante (CM), Galerias (Ga) e Escritório (Es). O Quadro 15 mostra a relação entre os ambientes, os tipos e as características da iluminação.

QUADRO 15 – CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES

AMBIENTE	TIPO	ILUMINAÇÃO	
		VARIAÇÃO	QUALIDADE
Campo a Jusante (CJ)	Externo	Dinâmica	Variada
Campo a Montante (CM)	Submerso	Dinâmica	Variada
Galerias (Ga)	Interno	Estável	Ruim
Escritório (Es)	Interno	Estável	Boa

FONTE: A Autora (2017).

- **Mobilidade:** dimensão relacionada à atividade que visa classificar o sistema em Móvel (M) ou em Fixo (F);
- **Trabalho dominante:** classifica as atividades e as tarefas do domínio quanto ao trabalho dominante. Para o nível das tarefas, essa dimensão faz uso da classificação definida por Berliner et al. (1964). Portanto, o trabalho dominante pode ser: Comunicação (Co), Motor (Mo), Perceptivo (Pe) ou Cognitivo (Cg). Já para as atividades, o trabalho dominante é classificado em: Coleta de Dados (CD) ou Análise de Dados (AD);
- **Informação:** dimensão utilizada para classificar as informações dispostas no aumento considerando duas variáveis:
  - Alvo do aumento: Mundo (Mu) ou Ambiente (Am);
  - Precisão do aumento: Alta (Al), Média (Me) ou Baixa (Ba).

Nas subseções seguintes, algumas sentenças da subseção “Preparação e Organização dos Dados”, encontram-se destacadas em quadros. Essas sentenças são os dados sensibilizadores. Eles foram usados para estimular o desenvolvimento das análises apresentadas.

#### 4.2.1 Realidade Aumentada nos Processos

Os dados sensibilizadores relacionados aos processos, são mostrados Quadro 16. Eles foram extraídos da subseção 4.1.4.1.

QUADRO 16 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “PROCESSOS”

<p>[...] equipe de profissionais coopera entre si para realizar os processos [...].</p> <p>O Responsável planeja e faz gestão; os Executores realizam as atividades do processo [...].</p> <p>A gestão [...] é definida como um método [...], pelo qual as atividades de uma organização são realizadas [...].</p> <p>O método [...] é composto por quatro ações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejar: Elabora cronograma [...]; atribui atividades e papéis [...]; estabelece metas; entre outros.</li> <li>• Comunicar: Informa [...] as atribuições, metas, papéis, entre outros.</li> <li>• Avaliar: acompanha [...] verificando [...] se condiz com o [...] planejado.</li> <li>• Tomar Decisões: analisa os resultados [...] faz encaminhamentos.</li> </ul>
--

FONTE: A Autora (2017).

Observando os dados do Quadro 16 percebe-se que devido ao auto nível de abstração dos trabalhos necessários nos processos, não é um nível apropriado para apontamentos quanto às contribuições oferecidas pela tecnologia. No entanto a análise sobre a caracterização da maneira como os processos são conduzidos evidenciam alguns benefícios que a Realidade Aumentada pode proporcionar à gestão dos processos.

As informações utilizadas na gestão de um processo se dividem em informações desvinculadas do contexto e informações contextualizadas.

As informações vinculadas ao contexto, quando disponibilizada via Realidade Aumentada, beneficia a gestão dos processos da seguinte forma:

- **Comunicação:** os dados gerados durante a execução das atividades de um processo são compartilhados automaticamente com os interessados da equipe. Assim a comunicação ocorre de modo transparente para a equipe. O principal interessado na informação gerada sobre um processo é o gestor que acompanha o desenvolvimento do processo. Ele pode prontamente perceber, acompanhar e interpretar o que for realizado em campo. Outros membros da equipe podem visualizar dependências entre o que foi planejado e o que já foi realizado, para se conscientizar e se planejar quanto às suas responsabilidades;
- **Recuperação de informação:** a Realidade Aumentada disponibiliza acesso contextualizado às informações que forem necessárias;
- **Aumento da percepção:** a Realidade Aumentada pode manipular as informações coletadas e acumuladas durante a realização das atividades e disponibilizar visões pertinentes para auxiliar o profissional no processo de cognição e de percepção de fatos relevantes. No âmbito do planejamento, os registros históricos podem ser abstraídos para visões elaboradas que destaquem situações relevantes de serem consideradas na elaboração de um novo plano. As visões personalizadas diminuem o tempo gasto para concluir trabalhos e auxiliam a tomar decisões e permitem ainda que sejam realizadas comparações para avaliar a condução do processo. O trabalho planejado, conforme é realizado, pode ser visualizado de modo contextualizado. Assim o responsável pode perceber o que foi planejado e o que foi realizado e tomar decisões rapidamente.

Para que a Realidade Aumentada possa proporcionar os benefícios citados é imprescindível que haja um modelo único e consistente de informação.

#### 4.2.2 Realidade Aumentada nas Atividades

Os dados sensibilizadores relacionados às atividades são mostrados no Quadro 17. Eles foram extraídos da subseção 4.1.4.2.

QUADRO 17 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “ATIVIDADES”

<p>Atividades são [...] partes do trabalho necessário para conclusão de um processo.</p> <p>Cada processo é composto por um conjunto de atividades inter-relacionadas [...] planejadas e executadas individualmente.</p> <p>O Responsável e o Executor de uma atividade são o mesmo profissional.</p> <p>Consultores [...] podem ser consultados para recomendar, aconselhar ou opinar.</p> <p>Informados [...] supervisionam ou são comunicados da realização ou conclusão da atividade.</p> <p>Considerando o método de gestão recomendado pela ICOLD [...] foi proposta sua simplificação [...] para conduzir uma atividade. O trabalho de uma atividade é dividido nas seguintes ações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar: [...] o profissional [...] se organizar/preparar antes de desenvolver a atividade.</li> <li>• Executar: realiza a atividade.</li> <li>• Monitorar: enquanto desenvolve a atividade, [...] verifica se condiz com o planejado.</li> <li>• Finalizar: confere o que foi planejado com o que foi realizado [...].</li> </ul>
--

FONTE: A Autora (2017).

Considerando as sentenças do Quadro 17, percebe-se que a Realidade Aumentada pode contribuir nas atividades para:

- **Comunicação:** a tecnologia para as atividades é um agente facilitador da comunicação, assim como é para os processos, principalmente para a comunicação entre o gestor e o responsável/executor. O gestor planeja e atribui atividades aos membros da equipe; a tecnologia facilita a comunicação. Do mesmo modo, conforme o executor realiza o trabalho, a informação registrada por ele pode ser acompanhada pelo gestor (compara o que foi planejado com o que executado); o gestor analisa as informações registradas e quando uma atividade é finalizada, todos os envolvidos são imediatamente comunicados;
- **Recuperação de informação:** a Realidade Aumentada pode também disponibilizar consulta a informações, inclusive relatórios, pareceres, acumulados;
- **Captura de informação:** toda informação coletada é imediatamente compartilhada entre a equipe, de modo contextualizado, para então ser apresentada para a equipe, associado ao contexto relacionado;
- **Aumento da percepção:** a Realidade Aumentada pode manipular as informações coletadas e acumuladas para disponibilizar visões pertinentes e

contextualizadas para auxiliar o profissional a perceber fatos relevantes, e que dificilmente seriam percebidos se fossem visualizados fora do contexto. As visões personalizadas que auxiliam nas atividades também auxiliam a monitorar o que foi planejado em relação ao que já foi executado (o executor compara o que foi planejado com o que ele está desenvolvendo; do mesmo modo que o gestor avalia se o que foi planejado condiz com o que foi ou está sendo realizado).

Foram analisados também os dados sensibilizadores específicos de cada atividade, apresentados no Quadro 18. Esses dados sensibilizadores foram extraídos do Quadro 10. Para apoiar essa análise, foram organizados no Quadro 19 os ambientes onde são realizadas as atividades, a mobilidade exigida e também o trabalho dominante em cada atividade.

QUADRO 18 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES”

(continua)

**Detectar Fissura:**

Desloca-se diante da superfície inspecionando-a [...] a fim de perceber sinais visuais compatíveis com os de uma fissura. Caso ela ainda não tenha sido registrada, obtém imagens, [...] toma medidas pertinentes para registrar sua localização e posição.

**Caracterizar Fissura:**

Desloca-se até o local da fissura.

Coletar medidas [...], definir sua direção e aparência e a registrar estas informações.

**Investigar Fissura:**

Procura, seleciona e examina os dados, informações, registros, relatórios e outros relacionados a fissura para auxiliar na [...] investigação [...].

[...] registra os apontamentos para acesso futuro.

**Detectar Anomalias:**

Caso encontre uma fissura, verifica se já foi detectada e registrada (faz isso normalmente procurando anotações, em papéis impressos, levadas ao campo).

Caso a fissura ainda não tenha sido registrada, obtêm-se imagens e [...] medidas relativas do seu local [...].

**Analisar Comportamento:**

Procura, seleciona e estuda dados, informações, registros, relatórios e outros documentos relacionados, com intuito de entender e explicar o comportamento de uma fissura.

[...] toma nota dos riscos identificados e das recomendações para acesso futuro.

**Analisar Documentos:**

Procura, seleciona e estuda documentos, normas, manuais e relatórios da barragem pertinentes para tomar ciência e adquirir o conhecimento [...] para apoiar o desenvolvimento de outras atividades.

(conclusão)

**Ler Instrumento:**

Desloca-se até o local [...], mede e compara o valor apresentado pelo instrumento com valores de referência [...] buscando identificar anomalias.

Desloca-se [...] para inspecionar [...] a estrutura, de maneira visual [...]. Caso perceba alguma anomalia, realiza registros [...] comunica o responsável pela gestão [...].

**Validar:**

Procura, seleciona e examina os dados coletados; processa-os [...].

Gera desenhos e gráficos, [...] para obter recursos necessários para determinar se o comportamento é normal ou não. Caso seja normal, [...] comunica aos interessados que o dado é válido, caso contrário invalida o dado e determina as próximas ações, deixando tudo registrado.

FONTE: A Autora (2017).

QUADRO 19 – AMBIENTE DE REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

ATIVIDADE	AMBIENTE	MOBILIDADE	TRABALHO DOMINANTE
Detectar Fissura	CJ, CM, G	Mo	CD
Caracterizar Fissura		Mo	CD
Investigar Fissura	ES	Fi	AD
Detectar Anomalias	CJ, CM, G	Mo	CD
Analisar Comportamento	ES	Fi	AD
Analisar Documentos	ES, CJ, G	Mo	AD
Ler Instrumento	CJ, G	Mo	CD
Validar	ES	Fi	AD

**Legenda:**

CJ: Campo a Jusante

Mo: Móvel

CD: Coleta de Dados

CM: Campo a Montante

Fi: Fixo

AD: Análise dos Dados

G: Galerias

ES: Escritório

FONTE: A Autora (2017).

Analisando os dados contidos no Quadro 18 e no Quadro 19 observa-se que a Realidade Aumentada pode ser proveitosa nos seguintes aspectos:

- **Navegação:** orienta o profissional no deslocamento de campo para chegar ao local onde realizará a atividade;
- **Visões personalizadas:** além de indicar onde estão localizadas as fissuras ou anomalias já registradas, a Realidade Aumentada pode combinar outras informações a respeito das fissuras e apresentar visualmente para que o profissional se oriente, desenvolva avaliações ou tire conclusões a respeito. Seguem alguns exemplos de visões personalizadas:
  - No desenvolvimento da atividade “Caracterizar Fissuras”, a Realidade Aumentada pode sobrepor marcações somente sobre as fissuras que serão caracterizadas, reduzindo o tempo gasto pelo profissional para encontrá-las.

- Para a atividade de “Analisar Comportamento”, os dados acumulados ao longo do tempo a respeito das características de uma fissura podem ser utilizados para representar visualmente como ela evoluiu ou se comportou ao longo do tempo;
- Para a atividade “Investigar Fissura” a Realidade Aumentada pode dispor visualmente informações da região localizada no entorno da fissura investigada, acumuladas ao longo do tempo, para auxiliar o profissional a entender e investigar o mecanismo de formação e a idade da fissura.

O apontamento de posições ou regiões de interesse num determinado momento excluem as posições ou regiões que não precisam ser observadas na ocasião. Isso facilita consideravelmente o trabalho, evita o retrabalho, melhora a atenção e a concentração, evita troca de contexto e ainda diminui a exaustão do profissional que vai a campo desenvolver o trabalho.

Vale ressaltar que, de modo geral, para realizar as atividades é necessário ter acesso às informações acumuladas ao longo do tempo de modo compartilhado. Sem o uso de uma tecnologia computacional adequada surgem dificuldades que prejudicam o desempenho dos profissionais.

#### 4.2.3 Realidade Aumentada nas Tarefas

Do mesmo modo, para analisar as contribuições da tecnologia às tarefas do domínio foram elencados no Quadro 20 dados gerais sensibilizadores sobre as tarefas.

QUADRO 20 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “TAREFAS”

<p>Tarefa [...] representa o trabalho físico e mental realizado [...].</p> <p>[...] as tarefas podem ser ações externas, [...] interações com o ambiente e ações internas, [...] interações que ocorrem no âmbito mental – perceptivo e cognitivo.</p> <p>[...] o modo como elas são realizadas se alteram quando ocorrem mudanças no ambiente ou nos recursos empregados para a sua realização, inclusive os tecnológicos.</p>
---

FONTE: A Autora (2017).

As ações identificadas nas tarefas correspondem a pequenas porções de trabalho. Em um primeiro momento, elas aparentam ações ou mentais ou motoras, no entanto são compostas por ações mentais e motoras, sendo que uma delas se sobressai. Sabe-se que o trabalho mental é estimulado por sensações captadas pelo sistema sensorial humano, causadas pelo ambiente da tarefa. Por sua vez o trabalho mental aciona um trabalho motor.

A Realidade Aumentada, no âmbito das tarefas identificadas, pode ser empregada para melhorar as sensações captadas pelo profissional, pois conforme já afirmado, a informação apresentada de forma contextualizada reduz a carga cognitiva. Além disso, a atenção do profissional para realizar uma tarefa também aumenta. Portanto se a Realidade Aumentada for empregada para disponibilizar informações úteis à tarefa, da maneira e no momento oportuno de percebê-las, a Realidade Aumentada certamente fará contribuições inclusive pode ocasionar mudanças no modo como essas tarefas são realizadas.

A seguir é apresentada uma reflexão sobre as tarefas, buscando evidenciar o maior número possível de contribuições que a Realidade Aumentada pode proporcionar no domínio. As reflexões serão desenvolvidas com base nos dados sensibilizadores mostrados nos Quadros 21, 22, 23 e 24, extraídos da caracterização das tarefas.

As tarefas em destaque no Quadro 21 são, segundo a taxonomia de Berliner et al., de processos do tipo de comunicação, cujo objetivo principal é registrar e compartilhar as informações adquiridas.

QUADRO 21 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO DE COMUNICAÇÃO

<p><b>Desenhar:</b></p> <p><u>Registrar</u> o contorno da fissura. [...] <u>reproduzir o desenho</u> [...] tentando manter a escala e formato [...] próximo da realidade.</p> <p><b>Fotografar</b></p> <p>Obter um retrato, uma imagem de algo. O profissional, munido de alguma câmera fotográfica, captura a imagem.</p> <p><b>Anotar</b></p> <p>Tomar nota, registrar algo. Dados ou informações obtidas são registradas [...] persistidos e mantidos.</p> <p><b>Comunicar</b></p> <p>Transmitir, informar algo a alguém. Quando algo de anormal é detectado, é feito um comunicado [...]. [...] é utilizado algum protocolo.</p>
--

FONTE: A Autora (2017).

Nesse caso, a Realidade Aumentada pode proporcionar interfaces para o “registro aumentado”, ou seja, a tarefa obtém informações do contexto, por meio de sensores, até mesmo sem que o profissional tome consciência. Estas informações contextualizadas são proveitosas para análises, inclusive o dado pode ser mostrado de modo associado a uma posição espacial a outros profissionais, em qualquer tempo e momento.

Analisando as tarefas, percebem-se ainda outras vantagens específicas mediante as características apresentadas.

A tarefa “Desenhar” pode tirar proveito para obter meios inovadores de reproduzir o contorno de uma fissura. Considerando os recursos integrados oferecidos em plataformas móveis, uma câmera fotográfica é comum, assim como a tela *touch screen* e diversos sensores. Desta forma, obtendo uma imagem digital (fotografia), e utilizando recursos de processamento de imagens para segmentá-la (de modo automático ou semiautomático) pode-se obter o contorno da fissura.

A obtenção da imagem digital e o uso de recursos de processamento de imagens evitam o retrabalho, pois o profissional não precisa dedicar tempo reproduzindo o desenho em papel para posteriormente digitalizar. A imagem capturada pode ser armazenada como registro histórico para posterior análise da evolução da fissura ao longo do tempo. A imagem pode também ser usada como a entrada de uma rede de treinamento visando o reconhecimento de padrões que auxiliem no rastreamento preciso da posição de uma fissura para projeção do contorno extraído da própria fissura.

Enfim, são inúmeras as vantagens que a tecnologia pode oferecer, especialmente quando a captura das informações é feita por meio de dispositivos computacionais que alimentam um modelo de informação integrado.

Observa-se que as tarefas classificadas como de comunicação se tornam transparentes aos profissionais, quando utilizando recursos móveis e modelos integrados de informação.

As tarefas “Desenhar”, “Fotografar” e “Anotar” resultam essencialmente no registro de dados. Desse modo, a Realidade Aumentada poderia proporcionar uma interface para que os dados e as informações obtidas nestas tarefas fossem prontamente registrados na base de dados compartilhada.

No Quadro 22 encontram-se os dados sensibilizadores das tarefas que segundo a taxonomia de Berliner et al. são de processos do tipo motor.

QUADRO 22 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO MOTOR

<p><b>Deslocar</b></p> <p>Locomover-se para um local ou para uma posição.</p> <p>O profissional se desloca [...] utiliza informações que indicam o local ou posição que ele vai. A maneira como estas informações são fornecidas [...] depende dos recursos tecnológicos utilizados [...].</p>
--

FONTE: A Autora (2017).

As atividades realizadas em campo necessitam do deslocamento do profissional até o local físico. Nessas atividades é comum que seja estabelecido um roteiro para coleta de informações.

A tarefa “Deslocar”, cujo comportamento previsto é mover-se, estabelece a necessidade de um processo motor. Desta forma, a Realidade Aumentada pode ser empregada para propor rotas, planejar percursos, indicar locais, distâncias, entre outras que auxiliam as decisões relacionadas à navegação. Isso pode contribuir para melhorar o desempenho dos profissionais na execução das suas atividades.

Os dados sensibilizadores mostrados no Quadro 23, foram extraídos da caracterização das tarefas que segundo a taxonomia de Berliner et al. são de processos do tipo perceptivo.

QUADRO 23 – DADOS SENSIBILIZADORES DE “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO PERCEPTIVO

<p><b>Observar</b></p> <p>Olhar atentamente para uma superfície procurando algo.</p> <p>O profissional observa [...] com base na sua experiência avalia a aparência [...].</p> <p><b>Estudar</b></p> <p>Investigar [...] algo.</p> <p>Os dados e as informações são estudados [...] para compreender o que está ocorrendo.</p> <p><b>Identificar</b></p> <p>Reconhecer [...] algo que procura.</p> <p><b>Encontrar</b></p> <p>Achar algo.</p> <p>[...] reconhece algo com base na sua aparência, localização ou identificação, já conhecida por meio de acesso a dados e informações disponíveis [...].</p> <p><b>Procurar</b></p> <p>Buscar algo.</p> <p>[...] observa [...] de maneira atenta em busca de algo específico já conhecido, registrado.</p>
---

FONTE: A Autora (2017).

Considerando que uma das vantagens da natureza da Realidade Aumentada é sua capacidade de aumentar a percepção dos usuários, usá-la nas tarefas onde o trabalho perceptivo é dominante, sem dúvida, é proveitoso.

Para isso é importante identificar quais informações poderiam auxiliar a sua realização, bem como e quando elas poderiam ser disponibilizadas. Independente dos detalhes associados a cada tarefa, pode-se afirmar que a Realidade Aumentada tem grande potencial nessas tarefas.

Na tarefa “Observar”, assim como na tarefa “Identificar”, a Realidade Aumentada pode fornecer informações visuais em tempo real resultantes de processamento digital, utilizando como entrada as imagens capturadas continuamente durante a observação e produzindo visões diferenciadas da superfície, com intuito de ressaltar os detalhes da superfície, incluindo fissuras, aumentando a percepção do usuário e facilitando a identificação de novas fissuras. A Realidade Aumentada pode ainda contribuir dispondo dinamicamente marcações precisas sobre as fissuras ou anomalias já detectadas. Desta forma o usuário identifica quais são as novas fissuras, sem a necessidade de fazer fisicamente uma marcação sobre as já identificadas. Evidentemente, o uso da Realidade Aumentada nesta tarefa, reduz trabalho, custo, tempo e risco e conseqüentemente mantém o usuário mais atento já que evita troca de contexto para buscar e consultar documentos que descrevem a posição e as características das fissuras mapeadas, que desviaria a atenção do usuário.

Na tarefa “Encontrar”, a Realidade Aumentada pode orientar a navegação do usuário no campo, apontando a posição de um instrumento de medição, anomalia ou fissura já conhecida. Ela pode ainda recuperar toda e qualquer informação histórica ou técnica relacionada ao que se quer encontrar e pode, por meio de mecanismos mais naturais de interface, associar novas informações que venham ser coletadas no campo relacionadas à anomalia, fissura ou instrumento em questão.

Por fim, os dados sensibilizadores mostrados no Quadro 24 são referentes às tarefas que segundo a taxonomia de Berliner et al. são de processos do tipo cognitivo. Eles foram utilizados para o desenvolvimento das análises subsequentes.

QUADRO 24 – DADOS SENSIBILIZADORES “CARACTERÍSTICAS DAS TAREFAS” DOS PROCESSOS DO TIPO COGNITIVO

<p><b>Medir</b></p> <p>Determinar a grandeza, a medida de algo.</p> <p>Toma as medidas [...].</p> <p><b>Sugerir</b></p> <p>Apresentar [...] ideia ou opinião a respeito de algo.</p> <p>[...] o profissional [...] apresenta sua ideia ou opinião a respeito de algo que tem experiência[...].</p> <p><b>Selecionar</b></p> <p>Escolher algo.</p> <p>Selecionam-se dados ou informações relacionadas ao que vai ser investigado, estudado ou preparado.</p> <p>A forma como estes dados são pesquisados e acessados depende dos recursos utilizados para armazená-los e disponibiliza-los (relatórios ou sistema computacional).</p> <p><b>Preparar</b></p> <p>Ordenar, estruturar as ideias a respeito de algo.</p> <p>Os resultados e argumentos da análise ou pareceres das validações, são mentalmente produzidos.</p> <p><b>Comparar:</b></p> <p>Confrontar, verificar diferenças e semelhanças entre dois objetos, dados ou duas informações.</p> <p>O valor tomado em uma nova leitura é comparado com o valor de leituras anteriores para validação do valor obtido.</p>
--

FONTE: A Autora (2017).

As informações do mundo físico são percebidas pelos sentidos humanos (visão, tato, olfato e paladar) e transmitidos para representações mentais. O subsistema cognitivo seleciona as informações relacionadas com as informações percebidas pelos sentidos humanos, armazenadas internamente em suas memórias. Essas informações são utilizadas para guiar as decisões e ações físicas.

O processador humano cognitivo é limitado e nem toda informação relacionada é possível de ser recuperada do seu sistema de memória. Desse modo, nas tarefas associadas aos processos de cognição, a Realidade Aumentada tem muito potencial, já que pode apresentar a informação contextualizada que complementa a percepção e facilita o desenvolvimento da cognição do profissional.

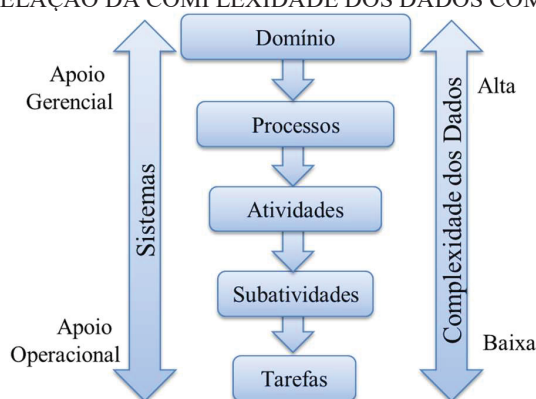
Na tarefa “Comparar”, a Realidade Aumentada permite verificar no campo, a evolução da fissura e auxiliar decisões. Ela pode destacar o quanto a fissura evoluiu durante o período, ou ao longo do tempo, desde que foi percebida.

Nas tarefas “Sugerir”, “Selecionar” e “Preparar”, a tecnologia pode reduzir a carga cognitiva recuperando as informações necessárias para desenvolvê-las.

#### 4.2.4 Considerações da Análise

Por meio da análise realizada foi observado que os trabalhos do nível gerencial necessitam de informações de alta complexidade enquanto que os trabalhos operacionais fazem uso de informações simples ou até mesmo dos dados brutos coletados. Esta observação está representada na Figura 48. Por outro lado, os ambientes onde as práticas operacionais ocorrem, são de difícil preparo, pois são dinâmicos (Jusante, Montante ou em Galerias), o que dificulta a precisão exigida no rastreamento dos locais onde estes dados precisam estar sobrepostos.

FIGURA 48 – RELAÇÃO DA COMPLEXIDADE DOS DADOS COM AS PRÁTICAS



FONTE: Produzida pela autora com base em DUNSTON E WANG (2011).

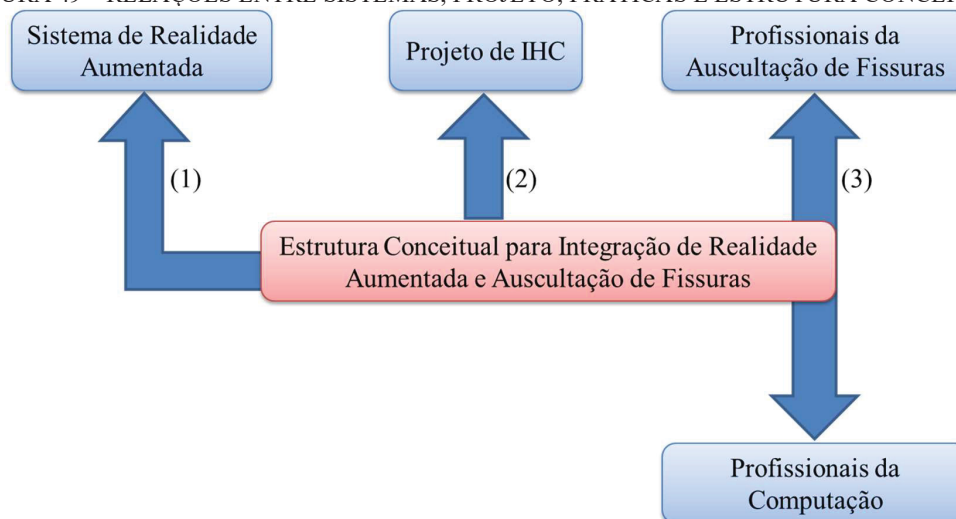
### 4.3 IDENTIFICAÇÃO E CATEGORIZAÇÃO DE CONCEITOS

Esta seção descreve os resultados da última etapa do método proposto. Ela expõe as ideias que emergiram a partir da análise dos dados relacionadas com a integração da tecnologia no domínio.

De modo geral foi possível observar que a estrutura conceitual estabelece um canal intermediário de comunicação entre os profissionais de computação e os da auscultação de físuras, conforme mostrado na Figura 49. Esse novo canal facilita a comunicação (Figura 49 (3)), pois apresenta aos profissionais da auscultação o que a tecnologia pode oferecer ao domínio de trabalho e as limitações e desafios. Assim ela estabelece uma ideia concreta do que um sistema, que utiliza esta tecnologia, pode oferecer (Figura 49 (1)). A estrutura conceitual também esclarece ao profissional da computação os requisitos funcionais e não funcionais que são necessários nos projetos de IHC (Figura 49 (2)).

Outras ideias que emergiram estão descritas nas próximas seções.

FIGURA 49 – RELAÇÕES ENTRE SISTEMAS, PROJETO, PRÁTICAS E ESTRUTURA CONCEITUAL



FONTE: A Autora (2017).

#### 4.3.1 Sistemas de Realidade Aumentada para o Domínio

A partir dos resultados da caracterização e das análises, observou-se que a tecnologia pode ser aproveitada principalmente nos trabalhos para auscultar as fissuras classificados como processos perceptivos ou cognitivos.

Levando em conta os trabalhos identificados no domínio, a caracterização desses trabalhos e a análise realizada sobre eles, seus ambientes e usuários, sugere a adoção da tecnologia em duas abordagens distintas:

- Auxílio às atividades da Gestão, em ambiente Preparados (AGP);
- Auxílio às atividades Operacionais, em ambientes Dinâmicos (AOD).

Para o AGP sugere-se o emprego de um sistema de Realidade Aumentada Espacial que por meio de um projetor, exhibe sobre uma réplica da barragem (maquete), os dados ou informações requisitadas pelo trabalho a ser desenvolvido. Uma alternativa é o emprego de um sistema de Virtualidade Aumentada que sobrepõe informações numa maquete digital, de modo que aumenta algo virtual e não real.

Para o AOD é sugerido o emprego de um sistema com três configurações distintas para o rastreamento: uma para o campo a jusante, outra para o campo a montante e ainda uma terceira configuração adequada às galerias.

O nível de precisão exigido no rastreamento das posições específicas da barragem nos trabalhos operacionais demanda a adoção de técnicas híbridas.

No âmbito do sistema AOD para ambientes submersos, sugere-se o uso de robô móvel controlado remotamente. Para campo a jusante e galerias sugere-se que sejam empregados sensores fixados no ambiente para auxiliar o sistema a se localizar no espaço.

#### 4.3.2 Arquitetura dos Sistemas para o Domínio

Considerando os requisitos essenciais que qualquer sistema de Realidade Aumentada deve atender (apresentados na seção 2.3) e considerando também as características do domínio de auscultação, as seguintes premissas podem ser evidenciadas:

- As atividades envolvem diversos tipos de profissionais com papéis distintos, que se comunicam e compartilham informações entre si;
- As atividades são realizadas em diversos tipos de ambientes;
- Várias atividades são realizadas num único ambiente.

Essas conclusões mostram que é necessário a estruturação dos dados e das informações relacionadas com a segurança da barragem onde as fissuras serão auscultadas. Essa estruturação deve abranger registros, relatórios, pareceres e todos os dados obtidos ao longo do tempo, em um modelo único de informação.

As atividades para garantir a segurança de uma barragem costumam ser apoiadas por sistemas de propósitos específicos. Estas atividades resultam na coleta de dados que são mantidos permanentemente, formando uma grande base de dados histórica, explorada para gerar conhecimento e compreender o comportamento da estrutura ao longo do tempo.

Conforme colocado pelo boletim 154 da ICOLD (2013), a gestão das informações feita de forma integrada e apoiada por tecnologias apropriadas gera benefícios como (ICOLD, 2013):

- Acesso consistente às informações;
- Melhora o mecanismo da gestão, da comunicação e da segurança;
- Reduz esforços e custos;
- Melhora o desempenho global da organização.

Como já foi mencionado, ainda não existe um modelo de informação consolidado para barragens. Embora BIM seja promissor para construções de infraestrutura, ainda carece de avanços para adoção. Desse modo, as barragens em operação não possuem um modelo de informação BIM, mas devem buscar a adoção de TICs para integrar, organizar, manter e explorar os dados, documentos e as informações acumuladas ao longo da vida da barragem de modo acessível, único e compartilhado, conforme representado na Figura 50.

FIGURA 50 - MODELO DE INFORMAÇÃO PARA O DOMÍNIO

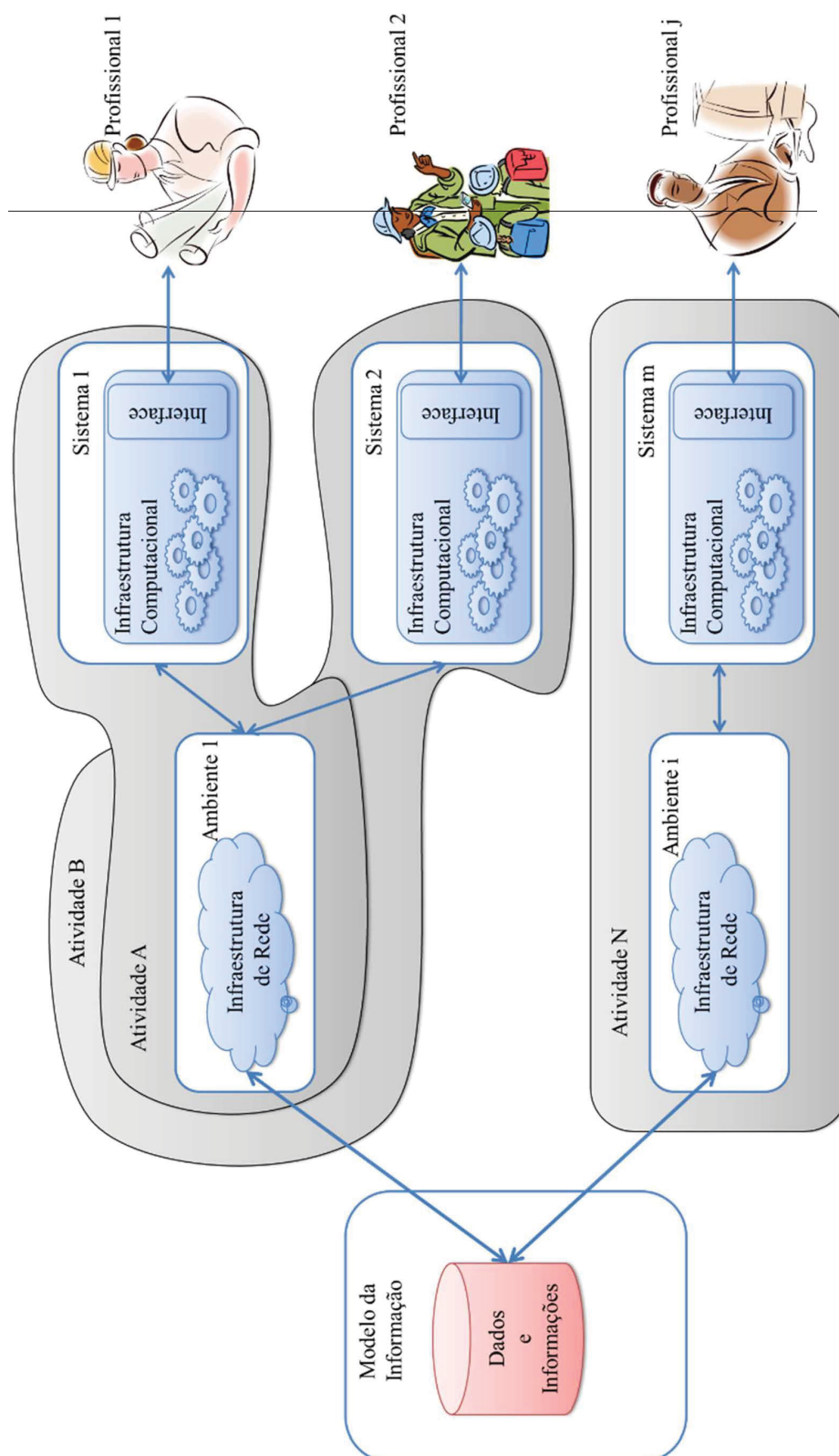


FONTE: A Autora (2017).

Vale ressaltar ainda que, para que os benefícios da Realidade Aumentada possam ser aproveitados no domínio, é requisito fundamental que haja um modelo de informação integrado ou único, compartilhado e consistente. Isto viabiliza a manipulação dos dados e apresentação atendendo às necessidades dos diversos profissionais envolvidos.

Diante do exposto, a Figura 51 mostra uma visão geral da arquitetura esperada para os sistemas do domínio.

FIGURA 51 – ARQUITETURA DOS SISTEMAS DE REALIDADE AUMENTADA DO DOMÍNIO



FONTE: A Autora (2017).

#### 4.3.3 Potencial da Tecnologia para o Domínio

Por meio da análise realizada foi possível observar que a Realidade Aumentada no domínio da auscultação de fissuras tem considerável potencial. As seguintes características gerais da auscultação de fissuras dão suporte:

- A auscultação das fissuras envolve equipe multidisciplinar;
- As atividades exigidas no domínio têm como característica geral coletar e registrar dados ou fazer uso de informações oriundas dos dados acumulados ao longo do tempo;
- A extensão física destas estruturas geralmente é considerável e várias atividades exigidas ocorrem no campo, afastado dos escritórios onde se encontram armazenados as informações acumuladas e consultadas.
- Fissura é uma patologia normalmente discreta, quase que imperceptível a humanos, diante da dimensão da estrutura.
- No processo de auscultação, fissuras são identificadas e as suas evoluções são acompanhadas ao longo do tempo.
- Identificar as fissuras na estrutura é um trabalho exaustivo e complexo.
- Tão complexo quanto identificar, é encontrar as fissuras (caso não haja marcação sobre elas para identificá-las) que já foram identificadas anteriormente para fazer o acompanhamento.

Diante dessas afirmações percebe-se que a integração da Realidade Aumentada como ferramenta de apoio ao trabalho exigido no domínio da auscultação de fissuras é proveitosa para:

- **Melhorar a comunicação;**
- **Evitar o retrabalho;**
- **Reduzir tempo operacional;**
- **Reduzir custos operacionais;**
- **Permitir o compartilhamento das informações;**
- **Melhorar a atenção na execução de um trabalho;**
- **Evitar a troca de contexto;**
- **Melhorar a gestão;**
- **Reduzir os trabalhos mentais;**
- **Melhorar o planejamento pessoal;**

- **Aumentar a percepção;**
- **Capturar informação contextualizada de maneira automática;**
- **Gerar visões diferenciadas do mundo real em tempo real;**
- **Dispor dinamicamente marcações sobre as fissuras ou anomalias de interesse;**
- **Orientar a navegação do usuário no campo;**
- **Apontar locais específicos;**
- **Recuperar informação relacionada a algo do ambiente;**

São inúmeras as vantagens e as formas como a tecnologia pode disponibilizar as informações contextualizadas, ligadas com as necessidades e também às questões do usuário. Observa-se que as tarefas de comunicação se tornam transparentes para os profissionais quando utilizando recursos móveis e modelos integrados de informação via Realidade Aumentada.

A Realidade Aumentada aprimora a percepção humana e, além disso, proporciona interfaces mais naturais para o acesso e também para a coleta de dados ou de informações. Ela possibilita criar muitas maneiras de explorar os dados e produzir informações relevantes e contextualizadas.

#### 4.3.4 Desafios e Limitações da Integração da Tecnologia ao Domínio

Conforme afirmou Regenbrecht (2007), existem três forças motrizes no contexto industrial, que levam à introdução de novas tecnologias: redução de custos, aceleração dos processos e melhoria da qualidade.

Muitas pesquisas já mostraram, por meio de protótipos, que a Realidade Aumentada pode trazer a informação apropriada, para o lugar certo, no momento certo e, portanto, tende a reduzir custos, acelerar os processos e melhorar a qualidade das práticas. No entanto ainda existem limitações e desafios a serem superados para que sistemas de Realidade Aumentada sejam efetivamente empregados no domínio da auscultação de fissuras.

- No âmbito dos requisitos essenciais da Realidade Aumentada, ainda é um fator crítico a precisão do rastreamento. As características exigidas numa técnica de rastreamento para atender as necessidades do trabalho do domínio são:
  - Precisão milimétrica para identificar a posição das fissuras já registradas; mas possuem diversos agravantes que dificultam ainda mais o que por natureza já é complexo:
    - As fissuras são visualmente discretas, pois possuem abertura milimétrica;

- É normal numa barragem de concreto a presença de fissuras em grande quantidade;
- Elas estão dispostas numa estrutura cuja extensão e altura normalmente passam da casa de dezenas de metros;
- As estruturas estão em ambientes abertos, expostas a ação do tempo e cuja iluminação varia de acordo com a hora do dia; ou então se encontram submersas onde o acesso e a visão são prejudicados; ou estão em galerias, que normalmente são escuras e úmidas;
- As barragens além de extensas são compostas por materiais que dificultam a propagação de sinais emitidos por sensores, inclusive de GPS.

Além das questões associadas à precisão exigida, existem outras relacionadas ao contexto de infraestrutura de hardware e software das organizações.

- Para que determinadas contribuições citadas sejam factíveis, algumas questões precisam ser tratadas antes do desenvolvimento dos sistemas:
  - Adoção de dispositivos computacionais com alto poder de processamento e sensores de longo alcance e precisos, pois:
    - O rastreamento é em tempo real e as técnicas híbridas que são as recomendadas para ambientes não preparados, necessitam de robustez;
    - Os alvos do aumento (fissuras) apresentam diversos agravantes, conforme descrito anteriormente, que dificultam ainda mais o que já é complexo por natureza;
    - O uso de técnicas de visualização científica e também de técnicas de inteligência computacional. A primeira é usada para gerar imagens que auxiliem na compreensão dos dados e processos e a segunda para que a interface seja o mais natural e transparente possível e que atenda as necessidades do usuário, reconhecendo o ambiente, a tarefa e dispondo informações úteis ao que deseja fazer.
  - Dispositivos computacionais com mobilidade principalmente para as atividades de coleta de dados que são realizadas no campo.
- Modelo único, consistente e altamente disponível dos dados; de preferência que os dados estejam integrados conforme um esquema de dados típico de BIM.

Embora a Realidade Aumentada seja o futuro das interfaces, ainda não foi efetivamente adotada no setor industrial. Conforme descrito, a Realidade Aumentada, quanto aos requisitos essenciais da tecnologia, ainda possui limitações e desafios associados.

#### 4.4 VALIDAÇÃO DA PESQUISA

Na validação de uma pesquisa de cunho qualitativo, o resultado final deve fazer sentido para os interessados e a utilidade da pesquisa é o que determina a qualidade do produto final.

Existem muitas maneiras para a validação dos resultados de uma pesquisa qualitativa. Jabareen (2009) afirma que uma delas é através da exposição da estrutura conceitual para a comunidade interessada em eventos acadêmicos.

Charmaz (2009) apresenta um conjunto de critérios relacionados a originalidade, a credibilidade, a ressonância e a utilidade da pesquisa. Esses critérios fornecem ideias aceitas sobre a validação. Ela afirma ainda que a combinação da originalidade e credibilidade aumenta a ressonância, a utilidade e o valor da contribuição da pesquisa.

A seguir são apresentados alguns critérios e as reflexões realizadas sobre eles levando em conta os resultados obtidos com esta pesquisa e também é apresentado um protótipo de Realidade Aumentada para o domínio da auscultação de fissuras em barragens de concreto, desenvolvido como prova de conceito.

##### 4.4.1 Credibilidade

- A pesquisa conseguiu obter familiaridade com o ambiente?

A pesquisa conseguiu identificar, conceituar e argumentar sobre os componentes relevantes de cada disciplina envolvida: auscultação de fissuras e Realidade aumentada.

- Os dados foram suficientes para satisfazer as afirmações?

As afirmações apresentadas foram respaldadas em dados extraídos de documentos consolidados no contexto das disciplinas envolvidas, por isso considera-se que os dados foram suficientes para satisfazer as afirmações.

#### 4.4.2 Originalidade

- As categorias são novas?

A estrutura conceitual proposta é resultado do desenvolvimento desta pesquisa. Na literatura não foi encontrado até a presente dada trabalhos que abordem a integração da Realidade Aumentada ao domínio da auscultação de fissuras; portanto considera-se que as categorias são novas.

- As categorias oferecem *insights* ou seja, permitem ampliar o discernimento, compreensão e conhecimento na temática?

Elas acrescentam conhecimento sobre a relação existente entre a tecnologia e o domínio. Destacam as contribuições, limitações e desafios que surgem da integração. No entanto não são esgotadas e nem limitadas aos *insights* apresentados; estando susceptíveis a novos *insights*.

#### 4.4.3 Ressonância

- A teoria faz sentido para os interessados ou para as pessoas envolvidas?

A teoria foi pouco divulgada e pouco explorada até o momento. Aos profissionais envolvidos, a estrutura tem sentido. No entanto a ressonância será confirmada com o tempo a partir da sua utilidade.

Esta pesquisa gerou as seguintes publicações até o momento: (PERES, F.F.F.; SCHEER, S.; FARIA, E.F. AND VIAN, 2015; PERES et al., 2015, 2016). No artigo de Peres e outros (2016) é apresentado um protótipo que explora uma das contribuições apontadas pela estrutura conceitual. A contribuição encontra-se descrita na seção 4.4.5.

#### 4.4.4 Utilidade

- A análise oferece interpretações que possam ser utilizadas na prática?

Sim. A análise oferece interpretações que podem ser utilizadas na prática.

- A análise pode incentivar novas pesquisas em outras áreas?

Sim. A análise foi limitada ao domínio da auscultação de fissuras. O resultado incentiva novas pesquisas em outros domínios do contexto, por exemplo.

- De que modo o trabalho contribui para o conhecimento?

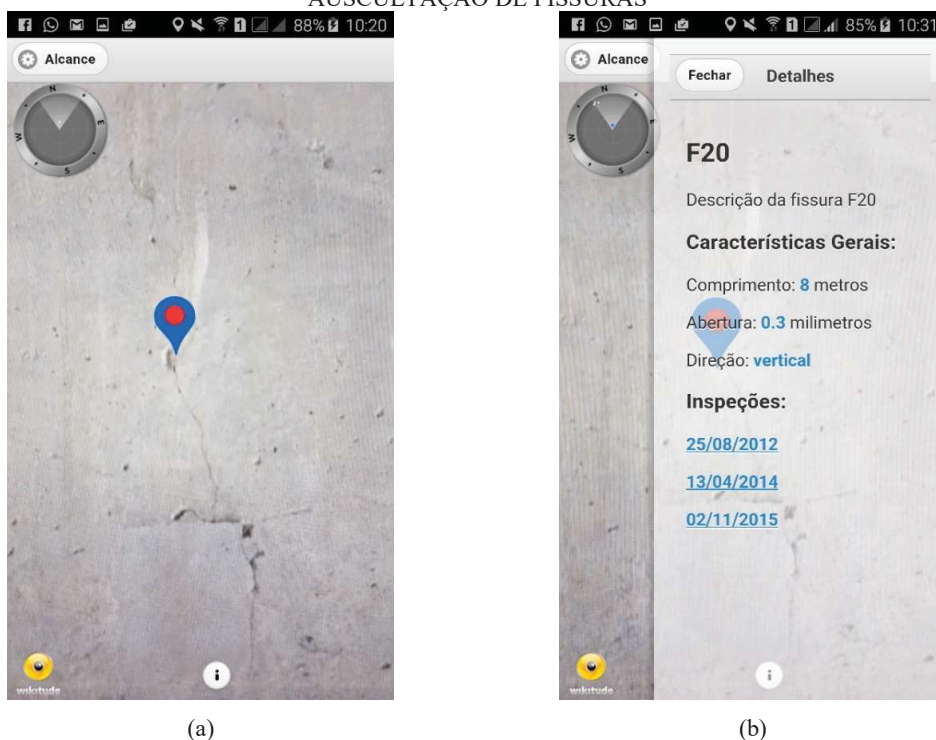
Ele apresenta reflexões sobre questões que não eram evidentes, mas que são importantes e merecem atenção antes de integrar a tecnologia nos trabalhos do domínio.

#### 4.4.5 Protótipo

Em Peres et al. (2016) é apresentado um protótipo que apresenta diversas funcionalidades que demonstram melhorias nas condições proporcionadas aos profissionais para realizar atividades da inspeção visual em tarefas de auscultação de fissuras em barragens.

O protótipo demonstra a aplicabilidade e a viabilidade da Realidade Aumentada. Ele torna acessível, em campo, as informações históricas a respeito das fissuras já mapeadas, conforme mostra a Figura 52. Ele mostra também que a Realidade Aumentada sobrepõe marcações diferenciadas sobre as fissuras mapeadas. As cores destas marcações indicam a classificação da fissura quanto às suas características (abertura e extensão). Por exemplo, uma fissura que possui abertura ou extensão considerada anormal, de risco, é representada com marcações vermelhas; outras fissuras com características consideradas normais são representadas com marcações verdes.

FIGURA 52 – TELAS DO PROTÓTIPO DE REALIDADE AUMENTADA PARA O DOMÍNIO DA AUSCULTAÇÃO DE FISSURAS



FONTE: A Autora (2016).

## 5 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, a estrutura conceitual de integração discutiu as contribuições da Realidade Aumentada nos trabalhos do domínio da auscultação de fissuras em barragens de concreto. Ela também abordou os desafios e as limitações para a integração. Desse modo o resultado alcançado por esta pesquisa atende ao objetivo geral estabelecido.

O método utilizado para desenvolver a estrutura conceitual tomou como base a Teoria Fundamentada e mostrou-se adequado. Através da análise indutiva dos dados foram identificados conceitos relevantes da tecnologia e do domínio de trabalho que estimularam a percepção de ideias sobre a integração.

Mediante a preparação e organização dos dados do domínio obteve-se entre outras coisas uma taxonomia hierárquica dos trabalhos realizados para auscultar fissuras em barragens de concreto. Por meio dessa taxonomia, os trabalhos foram classificados em níveis de abstração. Essa taxonomia em conjunto com as características da tecnologia que também foram identificadas sustentaram as principais ideias que emergiram na pesquisa.

Das ideias que emergiram conclui-se que embora a Realidade Aumentada seja uma tecnologia promissora e com potencial, sua usabilidade é fortemente dependente da robustez do modelo de informação e da adequabilidade dos recursos tecnológicos disponíveis.

A robustez do modelo de dados possibilita que sejam obtidas informações relevantes dos dados e que essas informações efetivamente contribuam com a cognição ou a percepção do profissional na realização dos trabalhos.

A adequabilidade dos recursos tecnológicos viabiliza que essas informações sejam sobrepostas no mundo real, com precisão, nos locais onde efetivamente elas enriqueçam o ambiente e, contribuam com o desenvolvimento do trabalho a ser realizado.

Observa-se também que o material resultante da caracterização dos trabalhos da auscultação de fissuras, foi utilizado para apoiar apontamentos de contribuições, limitações e desafios. No entanto esse material permite que sejam realizadas novas análises para que se desenvolvam novas ideias. No domínio da auscultação de fissuras foram identificadas inúmeras contribuições, mas também foram identificadas limitações. As principais limitações são em relação ao rastreamento devido ao requisito de precisão exigido.

A gestão das informações realizada de forma integrada e apoiada por tecnologias adequadas, favorece o acesso às informações de modo consistente. O mecanismo da gestão, da

comunicação e da segurança também melhoram. Além disso, os esforços e os custos são reduzidos.

Além das reflexões sobre as contribuições, limitações e desafios, foram apresentadas sugestões a respeito de classes de sistemas e de arquitetura dos sistemas para o domínio.

A partir dos trabalhos correlatos estudados, observou-se que embora haja pesquisas que abordam sobre o uso da Realidade Aumentada no contexto da engenharia, nenhum aborda a integração a tecnologia no domínio da auscultação de fissuras em barragens de concreto. Desse modo dentro da abrangência da pesquisa, a estrutura conceitual proposta é única.

A estrutura conceitual mostrou que a tecnologia contribui direta ou indiretamente de uma forma ampla com os trabalhos do domínio.

Com intuito de dar continuidade a esta pesquisa, sugere-se as seguintes frentes de investigações:

- **Técnica de Rastreamento:** devido ao requisito “precisão milimétrica” do domínio; diante das características dos ambientes onde os sistemas de Realidade Aumentada podem vir a ser utilizados; e também diante das características dos alvos de aumento; é imprescindível que sejam avaliadas na prática, por meio de protótipos, as técnicas de rastreamento. Os protótipos auxiliarão identificar quais técnicas atendem às necessidades de cada ambiente (Campo a Jusante, Campo a Montante e Galerias). Se alguma técnica atende, identifica-se quais, caso contrário, identifica-se quais os próximos passos para desenvolver novas pesquisas em busca de algum meio que atenda;
- **Carga de trabalho:** como a Realidade Aumentada aumenta a percepção do usuário e conseqüentemente a cognição e a ação motora, considera-se relevante quantificar, por meio de técnicas específicas para tal, a carga mental exigida nas tarefas do domínio. Essa medição fornece recurso para identificar quais as tarefas com maior impacto favorável pelo uso da tecnologia. As tarefas com maior esforço mental são as mais indicadas para uso da Realidade Aumentada, já que quanto maior o esforço mental, mais proveito pode-se tirar da tecnologia;
- **Métodos de interação:** a usabilidade tem como objetivo elaborar interfaces capazes de permitir uma interação fácil, agradável, com eficácia e eficiência. Ela avalia a aceitabilidade prática de um sistema por meio de cinco critérios que são: Intuição, Eficiência, Memorização, Satisfação e Erros (Nielsen, 1993). Esta avaliação é feita por meio do uso de protótipos, observando a interação do usuário com o protótipo em laboratório ou no próprio ambiente de trabalho;

- **Modelo de dados:** como ainda não existe um modelo de informação consolidado para Barragens, é importante que sejam desenvolvidas pesquisas que apontem alternativas válidas que definam um modelo de informação único, consistente e acessível;
- **Recursos tecnológicos:** avaliar recursos de hardware e software para construção de infraestrutura tecnológica capaz de superar as interferências que o ambiente causa e, além disso, não interferir nos equipamentos técnicos já existentes, tais como sensores e instrumentos de medição.

## REFERÊNCIAS

- AHORA, R. **BIM Based On-Site Surveying**. Helsinki: FinnishTransport Agency, 2015.
- ANA. **Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem - Volume II**. Brasília: Agencia Nacional de Águas (ANA), 2016a.
- ANA. **Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens - Volume VII**, 2016b.
- AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. **Teleoperators and Virtual Environments**, v. 4, p. 355–385, 1997.
- AZUMA, R. T. et al. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computers Graphics and Applications**, v. 21, p. 34–47, 2001.
- BAE, H.; GOLPARVAR-FARD, M.; WHITE, J. High-Precision Vision-Based Mmobile Augmented Reality System for Context-Aware Architectural, Engineering, Construction and Facility Management (AEC/FM) Applications. **Visualization in Engineering**, v. 1, n. 1, p. 3, 2013.
- BARBOSA, S. D. J.; DA SILVA, B. S. **Interação Humano-Computador**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Parte 3: Interação. In: **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: Editora SBC, 2006. p. 129–148.
- BEGOSSO, L. C. S. **PERERE - Uma Ferramenta Apoiada por Arquiteturas Cognitivas para o Estudo da Confiabilidade Humana**. São Paulo: USP, 2005.
- BEHZADAN, A. H.; DONG, S.; KAMAT, V. R. Augmented Reality Visualization: A Review of Civil Infrastructure System Applications. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 2, p. 252–267, 2015.
- BERLINER, D. C.; ANGELL, D.; SHEARER, J. Behaviors, Measures and Instruments for Performance Evaluation in Simulated Environments. **Symposium and Workshop on the Quantification of Human Performance**, p. 277–296, 1964.
- BILLINGHURST, M.; CLARK, A.; LEE, G. A Survey of Augmented Reality. **Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction**, v. 8, n. 2–3, p. 73–272, 2015.
- BIMBER, O.; RASKAR, R. **Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds**. Wellesley: A K Peters, Ltd. All, 2004.
- BOLT, R. A. **Put That There: Voice and Gesture at the Graphics Interface**. (H. Z. Thomas, James J. and Ellis, Robert A. and Kriloff, Ed.)SIGGRAPH 1980: Seventh Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. **Anais...Seatle: ACM**, 1980.
- BRADLEY, A. et al. BIM for Infrastructure: An Overall Review and Constructor Perspective. **Automation in Construction**, v. 71, p. 139–152, 2016.
- BRASIL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002.
- BRASIL. **Lei No. 12.334, de 20 de Setembro de 2010**. Brasília, Brasil, 2010.

- CARMIGNIANI, J.; FURHT, B. Augmented Reality: An Overview. In: **Handbook of Augmented Reality**. Florida: Springer, 2011. v. 3–46p. 746.
- CHARMAZ, K. **A Construção da Teoria Fundamentada: Guia Prático para Análise Qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- CHI, H.-L.; KANG, S.-C.; WANG, X. Research Trends and Opportunities of Augmented Reality Applications in Architecture, Engineering, and Construction. **Automation in Construction**, v. 33, p. 116–122, ago. 2013.
- COELHO, D. P.; PATIAS, J.; GARAY, V. R. Sistema de Otimização e Análise de Auscultação da Barragem de Itaipu. **XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens**, p. 1–11, 2015.
- COSTA, W. D. DA. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- CURRÁS, E. **Ontologias, Taxonomias e Tesouros em Teoria de Sistemas e Sistemática**. Brasília: Thesaurus, 2010.
- DSC. **Dam Safety Management System (SMS)**. New Soul Wales: Dam Safety Committee, 2010.
- DUBOIS, E.; NIGAY, L. Augmented Reality: Which Augmentation for Which Reality? **Dare 2000**, v. April 2000, n. 1, p. 165–166, 2000.
- DUNSTON, P. S.; WANG, X. A Hierarchical Taxonomy of AEC Operations for Mixed Reality Applications. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 16, n. August 2008, p. 433–444, 2011.
- EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2011.
- ELETROBRÁS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. Disponível em: <<https://www.eletrbras.com/ELB/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2015.
- EUROCONTROL. **Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM ( HERA )**. Brussels, Belgium: Eurocontrol, 2002.
- EVERETT, J. G. **Construction Automation: Basic Task Selection an Development of the Cranium**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1991.
- FEMA. **Federal Guidelines for Dam Safety**Federal Guidelines for Dam Safety. USA: FEMA, 2004.
- FLICK. **An Introduction to Qualitative Research**. London: SAGE Publications, 2002.
- FUJIWARA, N.; ONDA, T. Virtual Property Lines Drawing on the Monitor for Observation of Unmanned Dam Construction Site. **ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality - ISAR**, p. 101–104, 2000.
- GASQUE, C. K. G. D. Teoria Fundamentada : Nova Perspectiva à Pesquisa Exploratória. In: **Métodos para a Pesquisa em Ciência da Informação**. Brasília: Thesaurus, 2007. p. 83–118.
- GHEISARI, M. et al. **Exploring BIM and Mobile Augmented Reality Use in Facilities Management**. Construction Research Congress. **Anais...Atlanta, GA: American Society of**

Civil Engineers, 13 maio 2014.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. Sexta ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008. v. 264.

GLASER, B. G.; STRAUSS, A. L. **The Discovery Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research**. USA: Aldine the Gruyter, 1967.

GOLPARVAR-FARD, M. et al. Integrated Sequential As-Built and As-Planned Representation with Tools in Support of Decision-Making Tasks in the AEC/FM Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. December, p. 1099–1116, 2011.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. D4AR-A 4-Dimensional Augmented Reality Model for Automating Construction Progress Monitoring Data Collection, Processing and Communication. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 14, n. June, p. 129–153, 2009.

GUIDOLIN, L. G. M. U. **Realidade Aumentada e Dispositivos Móveis para Auxílio na Manutenção de um Extensômetro**Foz do IguaçuUnioeste, , 2013.

HAMMAD, A.; GARRETT JR., J. H.; KARIMI, H. A. **Potential of Mobile Augmented Reality for Infrastructure Field Tasks**. Seventh International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation (AATT). **Anais...**United States: ASCE Press, 2002

HILLIGES, O. et al. **HoloDesk : Direct 3D Interactions with a Situated See-Through Display**. CHI '12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. **Anais...**Texas: ACM, 2012.

HOLZINGER, A. Usability Engineering Methods for Software Developers. **Communications of the ACM**, v. 48, n. 1, p. 71–74, 1 jan. 2005.

HOU, L.; WANG, X. Experimental Framework for Evaluating Cognitive Workload of Using AR System for General Assembly Task. **Proceedings of the 28th International Symposium on Automatio and Robotics in Construction**, p. 625–630, 2011.

HOU, L.; WANG, X. A Study on the Benefits of Augmented Reality in Retaining Working Memory in Assembly Tasks: A Focus on Differences in Gender. **Automation in Construction**, v. 32, p. 38–45, jul. 2013.

HUGUES, O.; FUCHS, P.; NANNIPIERI, O. New Augmented Reality Taxonomy: Technologies and Features of Augmented Environment. In: **Handbook of Augmented Reality**. Florida: Elsevier, 2011. v. 53p. 746.

HUNTER, A. et al. Navigating the Grounded Theory Terrain. Part 1. **Nurse Researcher**, v. 18, n. 4, p. 5–10, 2011.

HUTCHINS, E. **Cognition in the Wild**. Fourth ed. USA: MIT Press, 2000.

ICOLD. **Concrete Dams - Control and Treatment of Cracks - Bulletin 107**. Paris: CIGB - ICOLD, 1997.

ICOLD. **Sistemas de Monitoramento Automático das Barragens - Recomendações e exemplos - Boletim 118**. Paris: CIGB - ICOLD, 2000.

ICOLD. **Dam Safety Management : Operational Phase of the Dam Life Cycle - Bulletin 154**. Paris: CIGB - ICOLD, 2013.

IRIZARRY, J. et al. InfoSPOT: A Mobile Augmented Reality Method for Accessing Building Information Through a Situation Awareness Approach. **Automation in Construction**, v. 33, p. 11–23, ago. 2013.

ITAIPU. **Curso de Segurança em Barragens - Unidade 1: Aspectos Gerais da Segurança de Barragens**. Foz do Iguaçu: não publicado, 2011.

ITAIPU - JIE. **Fissuras na barragem não assustam**. Disponível em: <<http://jie.itaipu.gov.br/print/39327>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

JABAREEN, Y. Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure. **International Journal of Qualitative Methods**, v. 8, n. 4, p. 49–62, 2009.

JEON, J. et al. Development of Dam Safety Management System. **Advances in Engineering Software**, v. 40, n. 8, p. 554–563, ago. 2009.

JIAO, Y. et al. Towards Cloud Augmented Reality for Construction Application by BIM and SNS Integration. **Automation in Construction**, v. 33, p. 37–47, ago. 2013.

KATO, H. et al. Virtual Object Manipulation on a Table-top AR Environment. **Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000)**, p. 111–119, 2000.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: **Realidade Aumentada : Conceitos , Projeto e Aplicações**. Petrópolis: SBC, 2007. v. 1p. 2–21.

KIRNER, C.; TORI, R. Fundamentos da Realidade Aumentada. In: **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2006. p. 22–38.

KUPERMAN, S. C. **Módulo II - Unidade 1 - Deteriorações em Barragens de Concreto**. Foz do Iguaçu: não publicado, 2011.

KWON, O.-S.; PARK, C.-S.; LIM, C.-R. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. **Automation in Construction**, maio 2014.

LASER MAGIC PRODUCTIONS. **TransScreen - Photo Galery**. Disponível em: <<http://www.laser-magic.com/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

LEE, S.; AKIN, Ö. Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. **Automation in Construction**, v. 20, n. 4, p. 338–352, 2011.

LEHNEN, A. M. Proposta de um Framework Conceitual para Apoiar a Criação de Técnicas de Indexação para Banco de Dados Temporais. 2002.

MANZIONE, L. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

MARANGON, M. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra - Barragens de Terra e Enrocamento. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**, p. 1–27, 2004.

MARTAC, R. et al. Using internet of things in monitoring and management of dams in Serbia. **Facta universitatis - series: Electronics and Energetics**, v. 29, n. 3, p. 419–435, 2016.

- MARTINS, J. R. S. **Barragens e estruturas hidráulicas - Introdução e Conceitos**, 2016.
- MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. **Automation in Construction**, v. 42, p. 1–12, jun. 2014.
- MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. **Advances in Engineering Software**, v. 90, p. 1–10, 2015.
- MILES, M. B.; HUBERMAN, M. A. **Qualitative data analysis: An expanded sourcebook**. 3rd ed. ed. California: SAGE - Publications, 2014.
- MILGRAM, P.; COLQUHOUN, H. A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. In: **Mixed Reality - Merging Real and Virtual Worlds**. Tokyo: Springer Verlag, 1999. p. 5–30.
- MILGRAM, P.; KISHINO, F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. **IEICE Transactions on Information Systems**, v. E77–D, n. 12, p. 1–15, 1994.
- NETO, A. T. Uma abordagem para projeto de aplicações com interação multimodal na Web. 2011.
- NIELSEN, J. Usability Engineering. **Morgan Kaufmann Pietquin O and Beaufort R**, v. 44, n. 1/2002, p. 362, 1993.
- PARK, C. S. et al. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. **Automation in Construction**, v. 33, p. 61–71, ago. 2013.
- PARK, C. S.; KIM, H. J. A framework for construction safety management and visualization system. **Automation in Construction**, v. 33, p. 95–103, 2013.
- PELACANI, V. L. **Responsabilidade na construção civil**. Curitiba: CREA-PR, 2010.
- PERES, F.F.F.; SCHEER, S.; FARIA, E.F. AND VIAN, D. **Realidade Aumentada para o Acesso a Instrumentação da Barragem de Itaipu**. XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens. **Anais...Foz do Iguaçu: CBDB**, 2015.
- PERES, F. F. F. et al. **Classificação de Atividades de Segurança de Barragens quanto a Taxonomias de Realidade Aumentadas**. Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia. **Anais...Lisboa: 2015**.
- PERES, F. F. F. et al. Augmented Reality to Access Dam Cracks Information. **International Journal of Engineering Research and Application**, v. 6, n. 3, p. 24–28, 2016.
- PIASENTIN, C. Considerações sobre a Importância das Observações Visuais na Auscultação de Barragens. **XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens**, p. 1–7, 2003.
- PIASENTIN, C. **Módulo II Unidade 4 – Inspeções Visuais**. Foz do Iguaçu: não publicado, 2011.
- PINTO, D. F. **Barragem do Alto Lindoso**. Disponível em:  
<<http://portugalfotografiaaerea.blogspot.com.br/2012/08/barragem-do-alto-lindoso.html>>. Acesso em: 6 jan. 2017.
- RABBI, I.; ULLAH, S. A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking. **Acta Graphica**, v. 24, p. 29–46, 2013.
- RANKOHI, S.; WAUGH, L. Review and analysis of augmented reality literature for

- construction industry. **Visualization in Engineering**, v. 1, n. 1, p. 1–18, 2013.
- RAVITCH, S. M.; RIGGAN, M. **Reason & Rigor: How Conceptual Frameworks Guide Research**. USA: SAGE Publications Ltd., 2017.
- REGENBRECHT, H. Section IV: Case Studies of Augmented Reality Applications. In: **Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design**. USA: Idea Group, 2007.
- REINHART, G.; PATRON, C.; REALLTY, A. Integrating Augmented Reality in the Assembly Domain - Fundamentals, Benefits and Applications. 2002.
- ROBERTO, R.; LIMA, J. P.; TEICHRIEB, V. Tracking for Mobile Devices: A Systematic Mapping Study. **Computers & Graphics**, v. 56, p. 20–30, 2016.
- ROBERTO, R.; TEICHRIEB, V. **Desenvolvimento de um Sistema de Realidade Aumentada Projetiva com Aplicação em Educação**. Recife: UFPE, 2012.
- RUAN, K.; JEONG, H. An augmented reality system using QR code as marker in android smartphone. **2012 Spring World Congress on Engineering and Technology, SCET 2012 - Proceedings**, n. May 2012, 2012.
- SAÇASHIMA, R. E. **A Realidade Aumentada : Desafios Técnicos e Algumas Aplicações em Jogos e nas Artes Visuais**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.
- SANDOR, C.; KLINKER, G. Section III: Interface Design and Evaluation of Augmented Reality Applications. In: **Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design**. USA: Idea Group, 2007. p. 218–235.
- SANTIAGO, R. P. et al. Interfaces computacionais colaborativas : considerações para a construção de um universo teórico. p. 256–259, 2010.
- SCHMALSTIEG, D. et al. The Studierstube Augmented Reality Project. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 11, n. 1, p. 33–54, fev. 2002.
- SCHWALD, B. et al. An Augmented Reality System for Training and Assistance to Maintenance in the Industrial Context. **The 11th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision**, p. 425–432, 2003.
- SHARP, H.; ROGERS, Y.; PREECE, J. **Design de Interação além da Interação Homem-Computador**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- SHEHABUDEEN, N. et al. Representing and approaching complex management issues: Part 1 - Role and definition. **Centre for Technology Management Working Paper Series**, p. 1–20, 1999.
- SHIN, D. H.; DUNSTON, P. S. Evaluation of Augmented Reality in steel column inspection. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 118–129, mar. 2009.
- SHRAHILY, R. Y. et al. Communication framework to support more effective onsite construction monitoring. v. 149, p. 195–203, 2015.
- SILVEIRA, J. F. A. **Instrumentação e Comportamento de Fundações de Barragens de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- SOUZA, V. C. M. DE; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

- STERNBERG, R. J. **Psicologia Cognitiva**. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- SU, X. et al. Uncertainty-aware visualization and proximity monitoring in urban excavation: a geospatial augmented reality approach. **Visualization in Engineering**, v. 1, n. 1, p. 2, 2013.
- SUCCAR, B. Building Information Modelling : Conceptual Constructs and Performance Improvement Tools. n. December, 2013.
- TÖNNIS, M.; PLECHER, D. A.; KLINKER, G. Representing information - Classifying the Augmented Reality presentation space. **Computers and Graphics (Pergamon)**, v. 37, n. 8, p. 997–1011, 2013.
- VAN KREVELEN, D.; POELMAN, R. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. **The International Journal of Virtual Reality**, v. 9, n. 2, p. 1–20, 2010.
- VIAN, D. **Desenvolvimento de uma Ferramenta de Realidade Aumentada Integrada com os Servidores PI da Itaipu Binacional**Foz do Iguaçu, 2011.
- VIGNOLI, R. G.; SOUTO, D. V. B.; CERVANTES, B. M. N. Sistemas de organização do conhecimento com foco em ontologias e taxonomias. **Informação e Sociedade**, v. 23, n. 2, p. 59–72, 2013.
- WANG, X. Augmented reality in architecture and design: Potentials and challenges for application. **International Journal of Architectural Computing**, v. 7, n. 2, p. 309–326, 2009.
- WANG, X. et al. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. **Automation in Construction**, v. 34, p. 37–44, set. 2013.
- WANG, X. et al. Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. **Automation in Construction**, v. 40, p. 96–105, abr. 2014.
- WANG, X.; DUNSTON, P. S. Design, strategies, and issues towards an Augmented Reality-based construction training platform. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 12, n. July, p. 363–380, 2007.
- WANG, X.; DUNSTON, P. S.; SKINIEWSKI, M. Mixed Reality Technology Applications in Construction Equipment Operator Training. **21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, 2004.
- WANG, X.; LOVE, P. E. BIM + AR: Onsite information sharing and communication via advanced visualization. **Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)**, p. 850–855, maio 2012.
- WEBEL, S. et al. An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 61, n. 4, p. 398–403, abr. 2013.
- ZHANG, P.; GALLETTA, D. **Human-Computer Interaction and Information Systems: Foundations**. London: AMS, 2006.
- ZHOU, Y.; LUO, H.; YANG, Y. Implementation of Augmented Reality for Segment Displacement Inspection During Tunneling Construction. **Automation in Construction**, v. 82, p. 112–121, 2017.