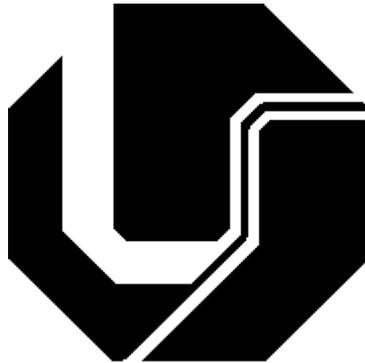


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**Uma Metodologia para Geração Otimizada de Ambientes**  
**Virtuais Baseados em Usinas Hidrelétricas**

**Ígor Andrade Moraes**

**Julho**

**2016**

**Uma Metodologia para Geração Otimizada de Ambientes Virtuais  
Baseados em Usinas Hidrelétricas**

**Ígor Andrade Moraes**

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

---

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Orientador

---

Prof. Edgard A. Lamounier Jr, PhD.

Co-orientador

---

Prof. Darizon A Andrade, PhD.

Coordenador do curso de Pós-Graduação

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M827m    Moraes, Ígor Andrade, 1992-  
2016        Uma metodologia para geração otimizada de ambientes virtuais  
baseados em usinas hidrelétricas / Ígor Andrade Moraes. - 2016.  
95 f. : il.

Orientador: Alexandre Cardoso.

Coorientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Realidade virtual - Teses. 3. Usinas  
hidrelétricas - Teses. I. Cardoso, Alexandre. II. Lamounier Júnior,  
Edgard Afonso, 1964- III. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

---

CDU: 621.3

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Uma Metodologia para Geração Otimizada de Ambientes Virtuais Baseados  
em Usinas Hidrelétricas**

**Ígor Andrade Moraes**

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Alexandre Cardoso, Dr. – Orientador (UFU)

Prof. Edgard Afonso Lamounier Jr, PhD – Co-orientador (UFU)

Prof. Renato Aquino, Dr. – Banca Interna (UFU)

Prof. Robson Augusto Siscoutto, Dr. – Banca Externa (Unoeste)

## **Agradecimentos**

*Aos meus pais, João Moraes e Maria Lúcia de Andrade Moraes, que representam minha base e, por mim, fizeram o possível e o impossível.*

*Ao restante da minha família que, apesar da distância, se fizeram presente e sempre me ofereceram apoio.*

*Aos meus amigos que me complementam e me fortalecem de formas indescritíveis.*

*Aos meus orientadores Alexandre Cardoso e Edgard Lamounier, aos quais devo todo o progresso aqui alcançado.*

*A todos os envolvidos com o programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.*

*Ao meu amigo Brian, por compartilhar tanto conhecimento e por todo benefício que uma amizade verdadeira entrega.*

*A Deus pela força, saúde e acompanhamento em cada etapa do meu desenvolvimento.*

*Finalmente, a todos que fizeram parte, direta ou indiretamente, da minha formação pessoal e profissional.*

**Obrigado!**

## **Financiadores**

*Este trabalho foi apoiado pelo Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D Cemig/Aneel – GT411, de parceria entre a Cemig Geração e Transmissão com a Universidade Federal de Uberlândia e por bolsa de demanda social da Capes. Sinceros Agradecimentos da Equipe de desenvolvimento e deste pesquisador.*

## **Resumo**

MORAES, Ígor A. *Uma Metodologia para Geração Otimizada de Ambientes Virtuais Baseados em Usinas Hidrelétricas*, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual, Otimização de Modelagem Tridimensional, Motor de Jogos, Usina Hidrelétrica.

Fundamentada na possibilidade de interação, em tempo real, com ambientes tridimensionais por meio de uma interface avançada, a Realidade Virtual constitui a tecnologia principal deste trabalho, utilizada na concepção de ambientes virtuais baseados em Usinas Hidrelétricas (UHEs). Anterior ao processo de implantação de um sistema de Realidade Virtual para operação, a modelagem tridimensional e a montagem das cenas interativas são etapas de extrema importância. Entretanto, devido à sua magnitude e complexidade, a geração de ambientes virtuais de usinas hidrelétricas, atualmente, tem tido um alto custo computacional. Assim, este trabalho visa apresentar uma metodologia capaz de otimizar o processo de produção de ambientes virtuais associados a hidrelétricas reais. Em parceria com a concessionária de energia elétrica – Cemig, diversas UHEs foram utilizadas no escopo deste trabalho. Durante a modelagem de cada uma delas, as técnicas que compõem a metodologia foram abordadas. Após avaliação do uso das técnicas computacionais aqui propostas, comprovou-se redução do tempo necessário para a entrega de cada complexo hidrelétrico. Assim, esta dissertação apresenta o cenário atual do desenvolvimento de usinas hidrelétricas virtuais e discute a metodologia proposta que busca a otimização deste processo no setor de geração elétrica.

## ***Abstract***

MORAES, Ígor A.; A Methodology for Optimized Generation of Virtual Environments Based on Real Hydroelectric Power Plants, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

**Keywords:** Virtual Reality, 3D Modeling Optimization, Game Engine, Hydroelectric Power Plant.

Based on the possibility of real-time interaction with three-dimensional environments through an advanced interface, Virtual Reality consist in the main technology of this work, used in the design of virtual environments based on real Hydroelectric Plants. Previous to the process of deploying a Virtual Reality System for operation, three-dimensional modeling and interactive scenes settings are very importante steps. However, due to its magnitude and complexity, power plants virtual environments generation, currently, presents high computing cost. This work aims to present a methodology to optimize the production process of virtual environments associated with real hydroelectric power plants. In partnership with electric utility CEMIG, several HPPs were used in the scope of this work. During the modeling of each one of them, the techniques within the metodologie were addressed. After the evaluation of the computational techniques presented here, it was possible to confirm a reduction in the time required to deliver each hydroelectrical complex. Thus, this work presents the current scenario about development of virtual hydroelectric power plants and discusses the proposed methodology that seeks to optimize this process in the electricity generation sector.

## ***Publicação***

É publicação resultantes deste trabalho:

1. Moraes, Ígor A.; Cardoso, A; Lamounier Jr., E.A.; Prado, P.R.M.; Neto, Milton M. **Técnicas de Modelagem e Desenvolvimento para a Concepção de Usinas Hidrelétricas Virtuais**. In: Anais do XII workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA'2015, 2015, Presidente Prudente, SP, Brasil.

# Sumário

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>12</b>
<b>Lista de Tabelas e Quadros .....</b>	<b>14</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>15</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1    Contextualização e Motivação .....	1
1.2    Objetivos e Metas.....	3
<b>Referencial Teórico.....</b>	<b>5</b>
2.1    Introdução .....	5
2.2    Realidade Virtual .....	5
2.2.1    Definições.....	5
2.2.2    Classificações de Realidade Virtual .....	6
2.2.3    Desafios na Produção de Ambientes Virtuais .....	8
2.2.4    Realidade Virtual Associada a Modelos Mentais Espaciais .....	9
2.2.5    Visualização da Informação em Ambientes Virtuais.....	10
2.2.6    Realidade Virtual na Operação e Controle de Sistemas Críticos de Engenharia	11
2.2.7    Elaboração de Ambientes Virtuais Voltados para Sistemas Elétricos...	12
2.2.8    Associação da RV a Usinas Hidrelétricas.....	13
2.3    Perfil da Geração de Energia Elétrica no Brasil .....	15
<b>Trabalhos Correlatos .....</b>	<b>17</b>
3.1    Introdução .....	17
3.2    3D Topographic Map Generation of Fukushima .....	17
3.3    Virtual Reality in the Substation Training Simulator .....	19
3.4    Application of the Virtual Reality Technologies in Power Systems.....	21

3.5	Using Virtual Worlds to Explore Electric Power Grids and Plants .....	22
3.6	RVCEMIG: A Virtual Reality System for Real Time Control of Electric Substations .....	24
3.7	Uma Estratégia Para Otimizar a Geração de Arranjos em Subestações Virtuais de Energia Elétrica .....	25
3.8	Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados .....	27
<b>Arquitetura do Sistema .....</b>		<b>30</b>
4.1	Introdução .....	30
4.2	Casos de Uso do Sistema .....	30
4.2.1	Descrição dos Casos de Uso do Sistema.....	32
4.3	Ambientes Reais de Usinas Hidrelétricas .....	34
4.3.1	Galeria Elétrica .....	36
4.3.2	<i>Galeria Mecânica</i> .....	37
4.3.3	Pátio dos Transformadores .....	37
4.4	Arquitetura .....	38
4.4.1	Registro de Insumos .....	40
4.4.2	Ciclo de Modelagem e Montagem de Cena .....	41
4.4.3	Integração dos Ambientes.....	42
4.4.4	Utilização do Sistema Pelo Usuário Final .....	43
<b>Detalhes da Implementação .....</b>		<b>44</b>
5.1	Introdução .....	44
5.2	Tecnologias de Suporte .....	44
5.2.1	3ds Max .....	44
5.2.2	SketchUp e Google Earth.....	45
5.2.3	Unity3D.....	46
5.2.3.1	Unity Editor Script.....	46
5.2.3.2	Prefabs .....	47
5.2.3.3	DirectX 11 e Tessellation .....	47
5.3	Elaboração dos Ambientes Virtuais.....	48
5.3.1	Modelagem e Montagem de Cena Modular .....	48

5.3.2	Cena Mapa.....	52
5.3.3	Cena Topográfica Virtual .....	53
5.3.4	Galeria Elétrica Virtual.....	55
5.3.5	Galeria Mecânica Virtual.....	56
5.3.6	Pátio de Transformadores Virtual.....	58
5.4	Processo Interativo.....	59
5.4.1	Interações Operacionais.....	61
5.5	Utilização da Realidade Virtual para a Vizualização de Informações em Hidrelétricas.....	62
5.6	Considerações Finais .....	65
<b>Resultados Obtidos – Evolução da Estratégia .....</b>		<b>66</b>
6.1	Introdução .....	66
6.2	Nova Ponte .....	66
6.3	Amador Aguiar 2.....	67
6.4	Amagor Aguiar 1 .....	67
6.5	Miranda .....	68
6.6	Volta Grande.....	69
6.7	São Simão .....	69
6.8	Considerações Finais .....	70
<b>Conclusões e Trabalhos Futuros.....</b>		<b>73</b>
7.1	Introdução .....	73
7.2	Conclusões.....	73
7.3	Trabalhos Futuros.....	75
<b>Referências Bibliográficas.....</b>		<b>77</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 - Realidade Virtual Não Imersiva com monitor (Kirner e Tori, 2006).....	7
Figura 2 - Realidade Virtual Imersiva com capacete HMD (Kirner e Tori, 2006).....	7
Figura 3 - Participação percentual dos tipos de centrais na capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil (Aneel, 2003).....	15
Figura 4 - Navegação pela Usina Nuclear de Fukushima (Oshida, 2014).....	18
Figura 5 - Galeria de Painéis Virtual (Wang e Li, 2010). ....	20
Figura 6- Exemplo de Visualização de um ambiente real por Meio do QuickTime VR. (SERRA, 2008).....	23
Figura 7 – Interação com o sistema virtual RVCEMIG (Cardoso et. al., 2013) .....	25
Figura 8 - Posicionamento de arranjo disjuntor e meio em um pátio de subestação de energia elétrica (Barreto et. al., 2016). ....	26
Figura 9 - Diagrama de Casos de Uso do Sistema. ....	31
Figura 10 - Setor desnecessário para o desenvolvimento da proposta.....	34
Figura 11 - Fotos das instalações reais – fonte: Autor. ....	35
Figura 12 - Galeria Elétrica da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.....	36
Figura 13 - Galeria Mecânica da Usina Hidrelétrica de Miranda. ....	37
Figura 14 - Pátio de Transformadores da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte .....	38
Figura 15 - Arquitetura do Processo de Elaboração dos Ambientes Virtuais. ....	39
Figura 16 - Registro em Vídeo da Galeria Mecânica da Hidrelétrica de São Simão .....	41
Figura 17 - Associação entre os Ambientes Virtuais. ....	43
Figura 18 - Processo de Geração de Malha 3D Com o DirectX 11.....	48
Figura 19 - Kit Baseado em Canos Utilizado no Software Fallout 3 .....	49
Figura 20 - Kit Utilizado no Software Skyrim .....	50
Figura 21 - Exemplo de módulos utilizados na proposta. ....	51
Figura 22 - Modularização do Pátio de Transformadores da Hidrelétrica de São Simão .....	51
Figura 23 - Cenário Utilizado Para a Seleção da Hidrelétrica. ....	52
Figura 24 - Malha poligonal e textura referente a região de instalação da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte .....	53

Figura 25 - Cena topográfica da usina de Nova Ponte .....	54
Figura 26 - Conjunto de Painéis Elaborado Pela Interface Desenvolvida. ....	55
Figura 27 - Textura Preparada Para Aplicação .....	55
Figura 28 - Galeria Elétrica Virtual da Usina Hidrelétrica de Amador Aguiar 2.....	56
Figura 29 - Modularização dos Dutos de Ar Presentes nas Hidrelétricas .....	57
Figura 30 - Galeria Mecânica Virtual da Usina de São Simão.....	57
Figura 31 - Equipamento de Proteção utilizado como obstáculo .....	59
Figura 32 - Pátio de Transformadores Virtual da Usina de Nova Ponte .....	59
Figura 33 - Ponto de mudança de cena .....	60
Figura 34 - Interação com Paineis de Proteção .....	63
Figura 35 - Interação com as Máquinas Geradoras.....	64
Figura 36 - Interação com Objetos no Pátio de Transformadores .....	64
Figura 37 - Conclusão das Hidrelétricas Virtuais em Dias de Trabalho .....	75

# Lista de Tabelas e Quadros

Tabela 1 - Quadro comparativo entre os trabalhos correlatos.....	28
Tabela 2 - Descrição do Caso de Uso - "Identificar a Posição do Equipamento" .....	32
Tabela 3 - Descrição do Caso de Uso - "Constatar Estado do Equipamento Alvo" .....	32
Tabela 4 - Descrição do Caso de Uso - "Acionar Operador 2 Para Intervenção" .....	33
Tabela 5 - Descrição do Caso de Uso - "Alterar o Estado do Equipamento Alvo" .....	33
Tabela 6 - Tabela Comparativa do Tempo de Desenvolvimento em Relação a Metodologia Utilizada.....	71

# Lista de Abreviaturas

RV	Realidade Virtual
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COS	Central de Operação e Controle
SVR	Sistema de Realidade Virtual
UHE	Usina Hidrelétrica

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização e Motivação

Em um dos primeiros momentos da história das interfaces computacionais, a interação com computadores era baseada em comandos complexos e com retorno visual escasso. A tela era utilizada predominantemente para a visualização de textos e para a visualização de informações correlatas a aspectos gráficos e não existiam possibilidades de interação (Bowman et. al, 2011). Inicialmente, em ambientes virtuais, a visualização de informações tridimensionais e visitas em tempo real a estruturas 3D eram tecnologias atuantes em aplicações úteis e eficientes. No entanto, estavam disponíveis somente para o domínio de cientistas e engenheiros (Bowman et. al, 2011).

Com a popularização do computador, pesquisadores conseguiram ajustar a máquina ao usuário, promovendo impacto na evolução do conceito de interfaces humano computador. Neste contexto, a Realidade Virtual (RV) representa uma mudança no conceito de interfaces, por ser capaz de oferecer interações naturais e tem sido essencial para a visualização de informações em diversos contextos científicos (Kirner e Siscoutto, 2007).

Considerada uma “interface avançada do usuário” que permite a interação com um ambiente virtual em tempo real, a Realidade Virtual pode promover experiências completas e apresentar pontos de vista inacessíveis em outros tipos de interfaces, além de possibilitar o emprego de competências adquiridas no mundo real e construir o conhecimento de uma forma prática e intuitiva (Tori e Kirner, 2006), suportada por ambientes tridimensionais.

Experiências em RV permitem a visita a espaços de difícil acesso, com redução de riscos de exposição, ao mesmo tempo que promove a condição de ganho de um modelo mental de tais ambientes. Neste contexto, usinas geradoras de Energia Elétrica, por serem ambientes

de exposição a riscos, apresentam um conjunto de restrições de acesso. Assim, um ambiente virtual pode ser uma ferramenta eficiente na exploração de tais espaços (Rivera, 1999).

Usinas Geradoras Hidrelétricas ocupam uma grande área geográfica e, devido aos códigos de risco ocupacionais definidos, apresentam áreas limitadas à um grupo seleto de funcionários, sendo inacessível para outros profissionais das concessionárias de energia elétrica. Neste cenário, o valor pedagógico e operacional de um sistema de RV é significativo e complementa os métodos tradicionais de treinamento e operação de sistemas de energia correlatos a tais usinas, que é baseado em modelos matemáticos e símbolos que representam espaços e dispositivos reais (Rivera, 1999).

Todavia, apesar dos benefícios apresentados pela utilização da Realidade Virtual na operação de sistemas, o processo de concepção dos ambientes virtuais não é uma etapa trivial e demanda o emprego de metodologias para uma melhor qualidade do processo (Miranda, 2010). É observada a necessidade de um fluxo de desenvolvimento de ambientes virtuais no setor elétrico devido à complexidade presente na criação de um protótipo e ainda pela demanda de tempo necessário para evoluir a proposta para uma aplicação confiável. Também é reconhecida a necessidade de uma geração mais automatizada dos ambientes associados a uma proposta de RV, visto que das etapas necessárias para a finalização de um sistema interativo, a elaboração tridimensional é uma das mais onerosas (Miranda, 2010).

Guo (2002), também confirma um cenário no qual a automatização tem predominado na geração em hidrelétricas e aponta a necessidade de utilização de aplicações em RV para melhores condições de operação, controle e treinamento. Adicionalmente, Xiao e Hong (2010) demonstra a dificuldade e o custo de elaboração de ambientes virtuais. Em ambientes de geração elétrica, este desafio da reprodução tridimensional, a partir de modelos reais, também existe por diversos fatores, tais como a dificuldade em se isolar equipamentos para registro de imagens, complexidade estrutural dos ambientes reais, diversidade de elementos a serem construídos, entre outros (Simões, 2012).

Assim, uma vez mais, observa-se a importância da elaboração de metodologias e convenções de desenvolvimento capazes de contribuir com o processo de construção de ambientes virtuais interativos na simulação de usinas hidrelétricas (Doi, 2014). Com efeito, neste caso, um projeto de RV inclui uma considerável quantidade de objetos que devem ser gerenciados e o reuso de modelos semelhantes é imperativo para a conclusão de uma aplicação em tempo hábil (Wang e Li, 2010).

Embora cada usina hidrelétrica tenha características únicas, há semelhanças construtivas e de projeto entre distintas estruturas. Tal fato motiva à possibilidade de elaboração de práticas de modelagem e montagem de cena, capazes de melhorar o processo de produção de usinas hidrelétricas virtuais.

Greenpeace (2011) constata que um total de 173 hidrelétricas estão em atividade no Brasil. Portanto, diante dos problemas acima identificados e das potencialidades oferecidas pela RV no cenário da geração elétrica (Xiao e Hong, 2010), este trabalho propõe uma metodologia para suportar uma criação mais otimizada de ambientes virtuais de usinas hidrelétricas reais.

## **1.2 Objetivos e Metas**

Como objetivo principal, este trabalho visa propor uma metodologia para concepção de ambientes de Realidade Virtual de usinas de Energia Hidrelétrica, de maneira a prover um desenvolvimento otimizado na geração destes espaços virtuais.

Levando em consideração o fundamento da proposta aqui apresentada, são objetivos específicos:

1. Elaborar metodologias de desenvolvimento que sejam capazes de acelerar o processo de produção dos ambientes virtuais interativos;
2. Modelar um conjunto de Usinas Hidrelétricas Virtuais para serem avaliadas como forma de contribuição para os processos de operação e treinamento em usinas hidrelétricas;
3. Propor e desenvolver um conjunto de estudos de casos que propiciarão condições de avaliação da metodologia e estratégias propostas.

Para realização da proposta aqui apresentada, são metas:

1. Estudar a utilização de metodologias específicas relacionadas ao tema proposto – redução do tempo de produção de ambientes virtuais e sua aplicação no desenvolvimento de usinas hidrelétricas;
2. Concepção de ambientes virtuais representativos a partir das técnicas propostas;
3. Avaliar a redução no tempo necessário para a reprodução das hidrelétricas virtuais;

4. Análise quantitativa dos benefícios proporcionados pela aplicação da metodologia no contexto deste trabalho;
5. Comprovação da repercussão causada pela estratégia em um cenário de reprodução tridimensional de ambientes hidrelétricos em uma Engine gráfica.

Esta dissertação é composta por 7 capítulos apresentando o seguinte conteúdo:

O primeiro capítulo é referente a introdução da proposta aqui apresentada, bem como aos objetivos e metas específicas necessárias para os resultados obtidos. O capítulo 2 apresenta todo o embasamento teórico que motivou o desenvolvimento deste trabalho. O terceiro capítulo apresenta trabalhos correlatos a esta proposta e uma tabela comparativa sobre a presença de critérios que contribuem de alguma forma com o trabalho aqui desenvolvido. O quarto capítulo compreende uma visão geral do Sistema, especificando aspectos como a arquitetura da elaboração dos Ambientes Virtuais, o funcionamento da aplicação e os espaços reais utilizados como base para construção tridimensional. O capítulo 5 contempla o processo de construção tridimensional das hidrelétricas, abordando também as tecnologias específicas utilizadas no processo. O capítulo 6 descreve a evolução da proposta a medida que as usinas virtuais foram concluídas, onde é possível observar o impacto das metodologias aplicadas na construção 3D dos ambientes. Finalmente, o capítulo 7 demonstra os aspectos finais da proposta, como o resultado final, trabalhos futuros e as descobertas realizadas.

# Capítulo 2

## Referencial Teórico

### 2.1 Introdução

Aqui serão apresentadas conceitos utilizados no desenvolvimento deste trabalho que abordam aspectos fundamentais acerca das tecnologias utilizadas, a utilização da RV no domínio do trabalho e o cenário do setor sobre o qual a proposta irá atuar.

### 2.2 Realidade Virtual

#### 2.2.1 Definições

Historicamente as definições de Realidade Virtual sofreram diversas modificações. O cenário que limitava a tecnologia a computadores de alto custo e porte já foi expandido para microcomputadores, dispositivos móveis, internet, elementos multissensoriais, entre outros (Kirner e Kirner, 2011). Neste contexto, pode-se afirmar que a Realidade Virtual combina programas computacionais, computadores de alto desempenho e periféricos específicos que permitem a navegação, e manipulação em um ambiente tridimensional de aparência realística (Cardoso e Lamounier, 2006). Segundo Kirner e Siscoutto (2007), a RV também é considerada uma “interface avançada do usuário” que permite a execução de programas que possibilitam navegação, visualização e interação em tempo real com ambientes 3D. A visão é o sentido predominante das pessoas, logo, o desenvolvimento tecnológico prestou foco aos monitores e nos diversos dispositivos de visualização, valorizando também o aspecto gráfico das

aplicações. Outro aspecto notoriamente desenvolvido diante as novas possibilidades oferecidas pela Realidade Virtual (RV) foram as interações do usuário com o computador.

Com o desempenho fraco dos primeiros computadores, interações em tempo real eram um conceito impossível, mas com o desenvolvimento de equipamentos mais potentes, as interações do usuário com a máquina se tornaram um processo mais transparente, intuitivo promovendo uma experiência mais completa capaz de apresentar ao usuário um conjunto muito maior de informações em menor tempo (Kirner e Kirner 2011).

De acordo com Kirner e Siscoutto (2007), a RV permite que o usuário empregue habilidades e conhecimentos intuitivos adquiridos no mundo real sobre a aplicação. A partir destes conhecimentos, o usuário se locomove e manipula o ambiente de forma natural. A interação se dá por meio de dispositivos que podem estimular a imersão em diversos graus. Entre estes dispositivos estão os capacetes de visualização, luvas, sensores, microfones, entre outros. Recursos não convencionais promovem maiores graus de imersão, enquanto dispositivos convencionais, como mouse, teclado e monitor não isolam os sentidos do usuário. Independente do foco da aplicação em RV, a interação em tempo real é imperativa para que a tecnologia seja válida e, por isso, é imprescindível para uma interação de qualidade que atrasos quanto à renderização de quadros por segundo sejam toleráveis para não comprometer a noção de interação em tempo real. Assim, a complexidade do mundo virtual e a forma de construção de cada modelo que compõe a cena deve ser ajustada de forma a funcionar com as taxas adequadas de renderização (Kirner e Siscoutto, 2007).

### **2.2.2 Classificações de Realidade Virtual**

Segundo Carodoso e Lamounier (2006), a RV pode ser classificada de acordo com o senso de presença do usuário na aplicação. Quando os sentidos do usuário são isolados e predominantemente transportados para a aplicação, o tipo de Realidade Virtual utilizada é imersiva. Para se alcançar tal imersão, dispositivos específicos são utilizados, os quais provem modos mais intuitivos de interação, dispositivos como rastreadores, sensores de dados biológicos, vídeo-capacetes (HMD), entre outros. Estímulos visuais são predominantes diante os outros sentidos e o tipo de imagem gerada é determinante para o nível de imersão do usuário (Cardoso e Lamounier, 2008). Assim, é possível classificar a Realidade Virtual em

Imersiva e Não-Imersiva. A imersão acontece quando dispositivos bloqueiam os sentidos do usuário e os transfere de forma predominante ao domínio da aplicação. Luvas, rastreadores, fones, vídeo-capacetes entre outros dispositivos devem ser utilizados para que a noção de presença do usuário no mundo real seja minimizada. Cardoso et al. (2007) confirmam que a tecnologia é de caráter não imersivo quando dispositivos convencionais são utilizados para a interação do usuário com o mundo digital. Assim, o usuário tem acesso ao ambiente virtual sem ser isolado do mundo real. Cada uma dessas abordagens de RV apresenta características únicas e dependem muito do foco e objetivo da aplicação. As Figuras 1 e 2 ilustram formas de interações imersivas com ambientes virtuais.



*Figura 1 - Realidade Virtual Não Imersiva com monitor (Kirner e Tori, 2006)*



*Figura 2 - Realidade Virtual Imersiva com capacete HMD (Kirner e Tori, 2006)*

### 2.2.3 Desafios na Produção de Ambientes Virtuais

Ambientes virtuais podem ser utilizados em diversos contextos, tais como treinamento, exercícios, entretenimento, engenharia e pesquisa, a Realidade Virtual oferece expectativas e tem chamado atenção de engenheiros que contribuem nos mais variados campos científicos. A tecnologia também é significativa em várias faculdades e institutos de pesquisa, mas ainda é caracterizada por adversidades que envolvem o desempenho da aplicação final e o comportamento físico simulado baseado em objetos reais (ZHAO, 2011).

Ainda segundo Zhao (2011), a Realidade Virtual é baseada em modelos e, por isso, é de extrema importância analisar fatores que influenciem a complexidade, processo de modelagem e credibilidade do objeto final. Assim é possível a identificação de desafios no desenvolvimento de aplicações em Realidade Virtual. É fato que existe uma expectativa quanto a semelhança entre um objeto real e sua representação virtual para que credibilidade seja entregue ao usuário, no entanto, critérios como a quantidade de polígonos, vértices e triângulos são aspectos que definem o desempenho da solução de RV desenvolvida. Em um sistema de Realidade Virtual, fidelidade com uma execução em tempo real garante melhor usabilidade, mas um alto grau de complexidade pode comprometer este fator. Ao mesmo tempo, é importante que os objetos representados sejam facilmente reconhecidos e, assim, o sistema seja capaz de contribuir com a solução. Fica claro que uma avaliação do processo de modelagem e as metodologias adotadas na construção de uma cena virtual não são etapas triviais, sendo que o usuário final e a foco da aplicação devem ser estudados para que recursos sejam devidamente aplicados e a produção evolua de forma otimizada (Zhao, 2011).

Carvalho et. al. (2016) confirmam a relevância e a eficiência da adoção de estratégias na elaboração de ambiente virtuais. Comprova-se também que a construção de representações tridimensionais por meio de imagens, fotos, vídeos de referência e plantas é viável e podem ser usadas na concepção de aplicações capazes de prover suporte para a visualização, monitoramento e controle de subestações. Dada a aplicação de técnicas adequadas de modelagem, os autores ainda confirmam que é possível reduzir o tempo de produção de ambientes virtuais em até 83%.

## 2.2.4 Realidade Virtual Associada a Modelos Mentais Espaciais

Somada a um alto grau de interatividade e imersão, a RV também se mostra muito eficiente por oferecer uma noção espacial clara e mais precisa. A tecnologia apresenta uma flexibilidade que não está presente no mundo real. Com ambientes virtuais, é possível dispor objetos tridimensionais de diversas formas, visualizar conteúdos por diversas perspectivas e ter acesso a interfaces e interações que podem criar um senso profundo de motivação e concentração sobre um material complexo e abstrato (Dede, et. al., 1996).

Um aspecto fundamental de aplicações baseadas em RV é a navegação, que consiste em um tipo de interação que não promove mudanças definitivas no ambiente virtual e ocorre quando o usuário desloca um avatar em um ambiente virtual por meio de algum dispositivo, seja um mouse e teclado comum ou um dispositivo de captura de movimentos para uma interação mais complexa. É por meio deste tipo de interação que é possível a aquisição de uma noção espacial do modelo representado e que pode se aproximar a um modelo real (Tori e Kirner, 2006).

Segundo Phillips (2009), maior precisão e fidelidade de modelos virtuais associados a modelos reais são aspectos que contribuem para a aquisição de um modelo mental espacial mais preciso. Graus mais intensos de imersão e a utilização de imagens foto realísticas já foram usadas no intuito de comprovar a possibilidade de se alcançar uma percepção espacial próxima a perfeição. No entanto, independente da fidelidade do modelo virtual e da realidade da cena, usuários tendem a subestimar a construção virtual, o que interfere no senso de presença e, conseqüentemente, no mapa mental referente ao ambiente construído digitalmente. Assim, fica claro que ambientes gerados no intuito de apresentarem mais acurácia, quando comparados as estruturas reais utilizadas como base, são interessantes em contextos imersivos e, mesmo que as medidas utilizadas no modelo virtual sejam idênticas as utilizadas no modelo real, não existe garantia que o modelo mental adquirido pelo usuário será completamente preciso (Phillips, 2009).

Lin et. al. (1998), já confirmavam a importância da reprodução 3D aproximada a partir de modelos reais. Ambientes elaborados de forma estimada podem ser associados a texturas com informações do mundo real e contribuir com o reconhecimento cognitivo de usuários do

sistema que desejam adquirir uma noção espacial do local utilizado como base na construção virtual.

### **2.2.5 Visualização da Informação em Ambientes Virtuais**

A necessidade de se manipular objetos apresentados por um sistema computacional definiu novos paradigmas de interfaces. Uma maior quantidade de camadas, mais naturalidade e transparência são aspectos que já estão presentes nas Interfaces Homem Computador (IHC) atuais. Neste contexto, a visualização da Informação é um campo que define as propriedades das formas de representações adotadas por um sistema e deve levar em consideração aspectos cognitivos, como habilidades espaciais, memória associativa e memória visual. Em todo caso, é um conceito interdisciplinar largamente utilizado no cenário científico, além de apresentar técnicas associadas a contextos específicos de visualização que podem ser ajudadas à necessidade do usuário (Chen, 2013).

O desenvolvimento de técnicas de visualização em ambientes tridimensionais foi inevitável diante os benefícios oferecidos pela Realidade Virtual. Uma das formas de visualizações mais comuns em ambientes virtuais está relacionada a obtenção de um mapa cognitivo a partir de interações com estruturas 3D. Para tanto, usuários de sistemas de RV são capazes de associar as representações visuais apresentadas ao seu mapa cognitivo, o que contribui com o aprendizado e as capacidades operativas do usuário (Chen, 2013).

A inserção de comandos é um caminho crítico na utilização de qualquer sistema computacional. Assim, o controle do sistema permite que o usuário mude o estado de uma aplicação, demande a execução de alguma função e defina suas formas de interação. Em um contexto que envolva a utilização de ambientes virtuais, o posicionamento e a escala dos elementos de interface é fundamental para uma interação intuitiva e eficiente (Bowman et. al, 2011).

Quando modelos tridimensionais são utilizados, objetos podem estar oclusos e o fator de escala pode dificultar sua seleção. Por isso, é importante analisar qual será a consequência gráfica de um objeto selecionado e qual o destaque será dado aos elementos alvo para que não exista ambiguidade e que a dificuldade de acesso a um objeto, devido a sua disposição

espacial, não seja um problema que comprometa a interação com o sistema. Também existe uma preocupação quanto a carga cognitiva que pode ser exercida sobre o usuário, uma vez que uma grande quantidade de informações rapidamente apresentada expõe o usuário a um desconforto na percepção do usuário que pode ser evitado. (Bowman et. al, 2011).

### **2.2.6 Realidade Virtual na Operação e Controle de Sistemas Críticos de Engenharia**

Do ponto de vista de segurança, eficiência e produtividade, a automação e medidas que minimizem o trabalho braçal de funcionários tem sido introduzidas em diversos processos de produção. No entanto, nem todo processo de produção pode ser automatizado dispensando esforço humano e existem diversas condições às quais processos automáticos ainda não podem ser adaptados com flexibilidade. Por isso, funcionários habilitados ainda se fazem necessários na indústria. No setor da manufatura, por exemplo, erros comuns são frequentes entre funcionários inexperientes e sistemas de Realidade Virtual têm sido aplicados no intuito de se melhorar tal cenário. Problemas como restrições espaciais e cenários ideais de treinamento impossíveis de serem aplicados no mundo real já foram solucionados em diversos trabalhos por meio de ambientes virtuais. (Liang et. al, 2012).

Liang et. al (2012), comprovou que o uso da RV somada a dispositivos adequados permite a simulação até mesmo da dureza de equipamentos associados a tornos mecânicos, possibilitando métodos de treinamentos inviáveis no mundo real, mas eficientes e capazes de reduzir a fadiga do funcionários, uma vez que na manufatura, funcionários adquirem experiência por meio da prática em componentes reais e a produção de algum equipamento comprometido implica na perda de tempo e recursos valiosos no mercado.

Breen e Scott (1995) já confirmaram os benefícios da RV e da sua significância no mercado da engenharia. Entre os benefícios apontados, estão a redução de custos, maior produtividade, treinamento acessível, entre outros. Quando ambientes virtuais amplos são produzidos, uma variedade de treinamentos de baixo custo voltados para a manutenção e operação se torna possível. Ao invés de deslocar funcionários até uma instalação ou construir modelos complexos, é possível estabelecer um centro de treinamento que agrega todo o equipamento necessário para o treinamento virtual. Ambientes virtuais, além de serem mais

baratos, definitivamente são mais seguros que ambientes que apresentam perigos reais ou equipamentos ativos, podendo contribuir com a qualidade da operação de todo um complexo (Breen e Scott, 1995).

Goto et al. 1995, comprova que, por questões de segurança e eficiência, a tele operação tem sido introduzida em diversos campos da engenharia. Neste contexto, a RV tem contribuído muito com este tipo de trabalho, o qual dispensa a ação presencial do funcionário em algumas etapas da produção. Neste sentido, um aspecto a ser analisado é a interface e o tempo de resposta que as restrições do hardware definem. Quando a tele operação envolve manufatura e atividades mais precisas, o tempo de resposta do equipamento é um requisito fundamental, visto que a eficiência da atividade pode ser comprometida e a carga cognitiva do usuário exagerada. Existem contextos que podem demandar uma manipulação na noção de presença, na qual o usuário deve estar imerso em um ambiente virtual e ter os seus sentidos voltados para o ambiente onde o equipamento real utilizado na atividade remota está instalado.

Operações remotas se mostram eficientes tanto em atividades alto risco que impossibilitam uma intervenção direta por um funcionário (Goto et al. 1995) ou quando a disposição geográfica das instalações envolvidas na produção dificulta um gerenciamento eficiente (Miranda, 2010). É possível identificar melhorias quanto as habilidades operacionais de usuários e uma taxa de aprendizado por parte dos funcionários que utilizam ambientes virtuais para operar ambientes remotamente. Propostas tele operativas também apresentam comodidades impossíveis no mundo real, uma vez que um ambiente virtual permite formas de visualizações flexíveis e convenientes ao usuário (Miranda, 2010).

### **2.2.7 Elaboração de Ambientes Virtuais Voltados para Sistemas Elétricos.**

Novos paradigmas para monitoramento e atividades de controle que consideram sistemas críticos na engenharia tem sido providenciados com o uso da Realidade Virtual. A importância da utilização de modelos tridimensionais é relevante neste contexto pois contribui consideravelmente para o modelo mental, sobre o ambiente real, dos profissionais que atuam em salas de controle remoto (Carvalho et. al., 2016).

É importante considerar que a reprodução 3D de ambientes relacionados a geração elétrica envolvem a utilização de objetos de larga escala, espaços muito populados, vegetação, entre outros elementos que devem ser considerados para que seja possível alcançar uma solução dotada de qualidade e alto desempenho (Simões, 2012).

Além disso, Simões (2012) infere que diante o cenário favorável da RV no setor elétrico, a reconstrução de objetos tridimensionais representa uma etapa fundamental para a concepção de soluções digitais que podem contribuir com o processo de produção. Para tanto, existem técnicas acessíveis, eficientes e baratas na geração de modelos necessários na indústria. Como exemplo de técnica utilizada no mercado, está a reprodução automática de objetos reais por meio de um conjunto de imagens, mas quando aplicada na construção 3D de dispositivos elétricos, apresenta limitações. Estão entre elas a dificuldade de se isolar os objetos alvos para a modelagem, o acesso à equipamentos devido ao protocolo de segurança e a qualidade do modelo final. Como alternativa, está a elaboração de objetos tridimensionais a partir de fotos e informações de referência, que ainda representa uma alternativa mais viável se comparada a outras técnicas mais caras de reprodução tridimensional, como o uso de lasers e scanners, por exemplo (Simões, 2012).

Simões (2012) também confirma a importância em se considerar que a reprodução 3D de ambientes relacionados a geração elétrica, envolvem a utilização de objetos de larga escala, espaços muito populados, vegetação, entre outros elementos que devem ser ponderados para que seja possível alcançar uma solução dotada de qualidade e alto desempenho.

### **2.2.8 Associação da RV a Usinas Hidrelétricas**

O uso da Realidade Virtual para treinamento pode ser justificado por trabalhos em diversas áreas científicas. Por exemplo, em Scott (1995) é apresentado um trabalho no campo da engenharia que comprova o uso da RV para visualização de informações e simulações, sendo capaz de aumentar a produtividade de treinamento em subestações, espaços confinados, áreas subterrâneas, etc. Por Rivera, ainda em 1999, o uso da RV na educação e treinamento é novamente abordado por meio de um trabalho que apresenta a implantação de modelos

virtuais a serem usados em cursos de sistemas de energia elétrica, permitindo que estudantes reconheçam o equipamento de acordo com sua aparência.

Diante a automatização de diversos processos da geração de energia, é importante o desenvolvimento de sistemas de treinamentos aplicáveis nestes novos cenários. No entanto, existe dificuldade de acesso a informações sobre as instalações para a reprodução tridimensional e novas técnicas de treinamento carecem no aspecto visual. Em resposta, a aplicação de tecnologias que envolvem ambientes virtuais no treinamento podem resolver os problemas mencionados anteriormente (Hongtao, 2010).

A manutenção de equipamentos presentes em instalações hidrelétricas envolve a análise de informações adquiridas e a correta tomada de decisão. A habilidade e o conhecimento do operador devem ser equivalentes à demanda da operação, mas para que o resultado esperado seja alcançado, a qualidade do treinamento também deve ser elevada. Ao mesmo tempo, a complexidade estrutural de uma usina hidroelétrica deve ser conhecida pelo operador para que uma tarefa seja realizada em tempo hábil (Guo, 2002).

Hongtao (2010) confirma a dificuldade existente em se promover treinamentos em usinas Hidrelétricas devido ao difícil acesso as informações e a carência no aspecto visual das atuais propostas de treinamento. Com a aplicação de tecnologias voltadas para a visualização da informação, é possível o desenvolvimento de materiais de treinamento em ambiente virtuais interativos. Com o uso de um ambiente virtual, é possível ainda combinar informações acerca dos processos de operação do complexo com o conhecimento dos funcionários, o que trará mais eficiência e impacto ao treinamento. Para tanto, é necessária a aquisição de informações sobre cada complexo modelado para que estas possam ser dispostas de forma conveniente e acessível na aplicação. Hongtao (2010) confirma que esse tipo de trabalho resolve problemas de eficiência em treinamento e promove uma melhor coordenação entre a equipe operadora.

Apesar da automação vigente em diversos processos em uma hidrelétrica, existem cenários que exigem a intervenção de profissionais, sendo que o conhecimento e a cooperação entre os envolvidos é um requisito fundamental para que a manutenção obtenha sucesso. Assim, por meio de um ambiente virtual, engenheiros podem visualizar de forma conveniente a estrutura do complexo no qual operam e conhecer melhor o seu ambiente de trabalho, bem como os componentes sobre os quais deverão operar. Além disso, o baixo custo para a promoção deste tipo de treinamento deve ser ressaltado, visto que a eficiência da RV

já pode ser somada a um baixo custo de implantação, dependendo do tipo de aplicação (Guo, 2002).

## 2.3 Perfil da Geração de Energia Elétrica no Brasil

A geração de Energia no setor Elétrico é constituída por diferentes perfis de geradores: Hidrelétricos, Termoelétricos, Termonucleares, Eólicos e Fotovoltaicos. Em média, segundo dados da ANEEL, 79% da Energia elétrica produzida no Brasil é gerada por Usinas Hidrelétricas. Estas geradoras de energia possuem instalações e características muito distintas por serem dependentes do relevo onde foram instaladas. Este fato gera demandas específicas de treinamento, manutenção, operação e controle para cada uma delas.

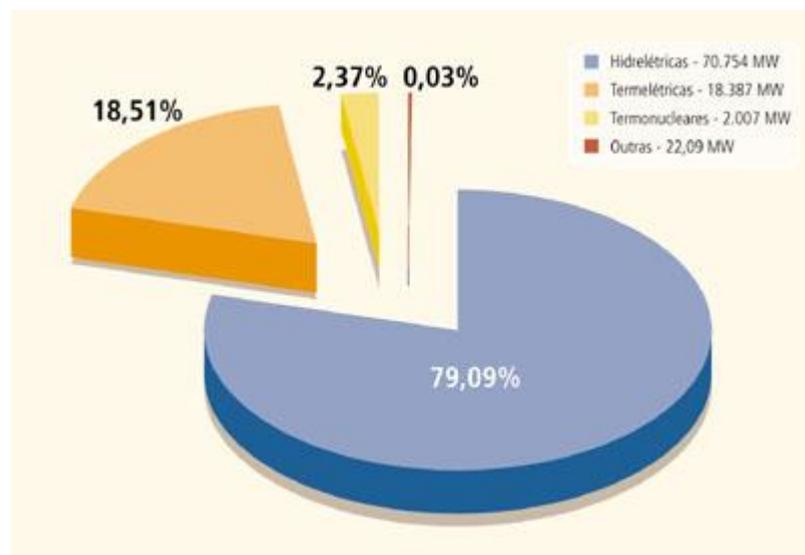


Figura 3 - Participação percentual dos tipos de centrais na capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil (Aneel, 2003)

No cenário atual, a geração é fortemente assistida por operação remota, distintamente de cenário de um passado próximo, quando um conjunto de operadores estava presente nas unidades locais. A operação remota deve levar em consideração as características individuais destas instalações, sendo necessário um treinamento local para que se estabeleça um modelo mental de cada arranjo elétrico existente. Combinando programas computacionais, máquinas de alto desempenho e a RV é possível a criação de um ambiente gráfico interativo capaz de promover experiências próximas à realidade, possibilitando que estes operadores não só

operem as usinas remotamente adequadamente, como possam também ser treinados dispensando deslocamento constante para a localidade da instalação da geradora de energia.

## Capítulo 3

# Trabalhos Correlatos

### 3.1 Introdução

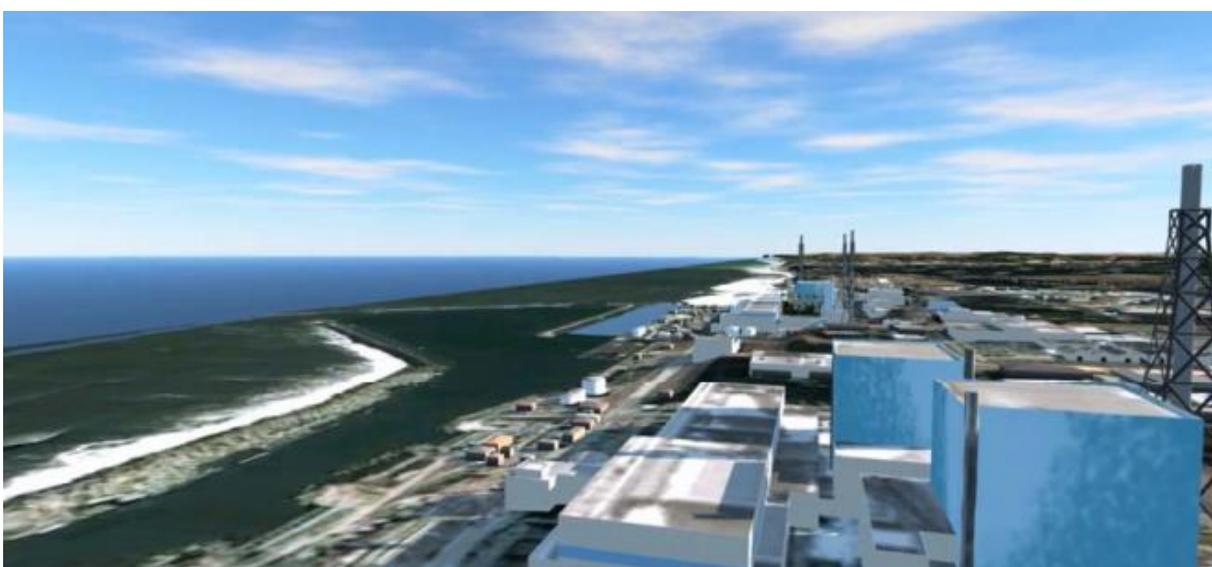
Neste capítulo são apresentados os trabalhos correlatos à solução aqui proposta. A relação destes trabalhos foi feita observando aspectos técnicos ou conceituais, tais como obstáculos identificados para a geração dos ambientes virtuais, metodologias para a elaboração de aplicações interativas e a contribuição da Realidade Virtual em processos de treinamento e operação.

### 3.2 3D Topographic Map Generation of Fukushima

Doi et al. (2014) relata o dia 11 de março de 2011, que foi marcado por um grave acidente ocorrido na usina nuclear de Fukushima da companhia de energia elétrica de Tóquio. Devido a um tsunami provocado por um terremoto, a usina sofreu danos em escala catastrófica, seguido da liberação de material radioativo, perda de energia para os municípios dependentes, danos ao reator e fusão do mesmo. Como resultado, os arredores da usina foram interditados, a água foi contaminada e o problema não poderia ser resolvido rapidamente. Diante o inevitável processo de reconstrução, seria importante que os envolvidos recebessem informações sobre a reconstrução. Assim, o autor propõe a reprodução tridimensional de tal região prejudicada a partir da mistura de dados topográficos e imagens aéreas, bem como a avaliação deste método de visualização. Para tanto, a coleta de vários documentos em poder de agências governamentais locais foi necessária.

Softwares voltados na engenharia civil, como o AutoCAD Civil 3D e o 3ds Max foram utilizados. O primeiro é especializado no planejamento das várias etapas do processo de

construção permitindo um eficiente fluxo para trabalhos de tal natureza, enquanto o segundo, apesar de ser voltado para modelagem tridimensional, foi utilizado para a conversão de arquivos, uma vez que os documentos e insumos utilizados para a modelagem se apresentaram em diversos formatos de arquivos. Os dados topográficos foram de grande auxílio na modelagem do ambiente capaz de apresentar todo o terreno, ruas e áreas residenciais dos locais atingidos pelo tsunami. Para uma demonstração mais real e convincente do terreno modelado, modelos de objetos típicos, como carros e pedestres foram adicionados a cena. A figura 4 apresenta o ambiente alçaçado pelo correlato.



*Figura 4 - Navegação pela Usina Nuclear de Fukushima (Oshida, 2014).*

O correlato aborda ainda a importância da classificação e organização dos arquivos que constituem toda a cena tridimensional. Geralmente, ambientes virtuais complexos envolvem vastas coleções de objetos que devem ser associados corretamente com a cena na qual estão inseridas. Assim, fica clara a necessidade da organização de todos os objetos e texturas que compõem uma grande cena virtual. O autor utilizou uma estrutura de diretórios planejada e organizada de forma a melhorar o fluxo de trabalho, no qual as pastas compreendem arquivos de acordo com sua extensão e finalidade.

Foi possível obter, com a clareza de informações que o ambiente tridimensional proporciona, uma noção geográfica fiel ao terreno real, podendo ainda ser de grande auxílio no planejamento da reconstrução da região apresentada. No entanto, é um trabalho que demanda precisão de informações abordando uma região específica do Japão, o que tornou

a aquisição de requisitos um processo oneroso, inviabilizando o uso de tal metodologia na reprodução de vários ambientes dentro de um mesmo trabalho. A utilização de dados topográficos apresentou um resultado satisfatório, pois tornou possível a visualização de informações precisas de uma vasta área em um único ambiente.

O correlato reforça uma devida organização dos diretórios, aspecto que foi utilizado nesta proposta, uma vez que o projeto abriga uma considerável quantidade de modelos que devem ser frequentemente acessados e aplicados. Com as convenções utilizadas na organização dos arquivos foi possível obter um melhor fluxo de trabalho, pois o desenvolvedor foi capaz de identificar com mais facilidade o modelo alvo de acordo com o contexto no qual o objeto será utilizado, principalmente aqueles modelos que são frequentemente utilizados.

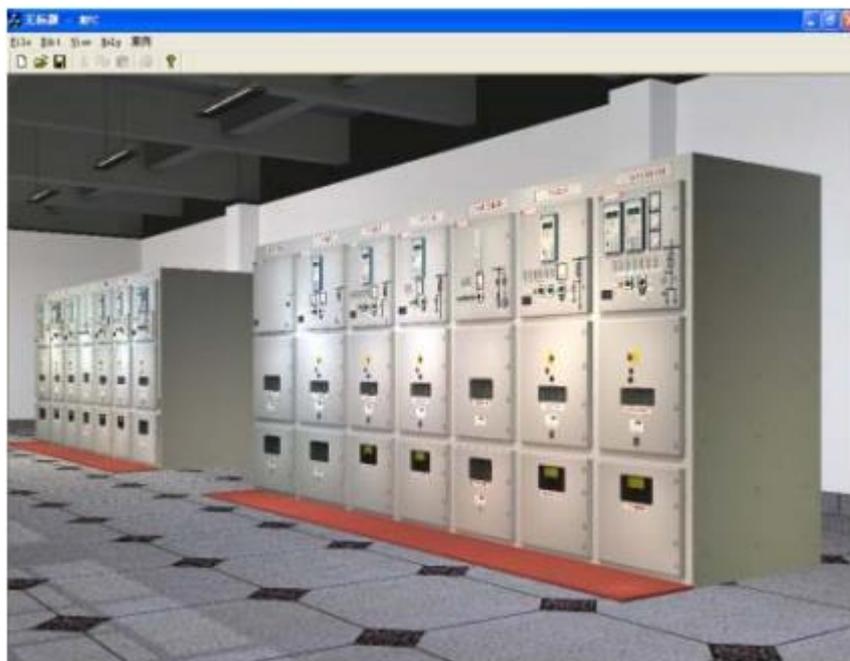
### **3.3 Virtual Reality in the Substation Training Simulator**

O trabalho de Wang e Li (2010) parte da premissa que operações elétricas em sistemas de energia demandam alto nível de profissionalismo para garantir economia, segurança e confiabilidade no que se refere a geração de energia. Assim, treinamentos de alta qualidade realizados por meio de softwares simuladores representam um importante meio para se alcançar o profissionalismo desejado, já que essa metodologia dispõe de baixo custo para execução, apresenta flexibilidade, formas convincentes de interação, melhoria na percepção, entre outros aspectos. Considerando a baixa fidelidade com o sistema real, presente na maioria dos simuladores voltados para treinamento em subestações, este trabalho relacionado foi desenvolvido apresentando uma solução para treinamento flexível apresentando cenários muito semelhantes a um ambiente real.

O autor propõe um sistema de treinamento simulatório com RV que permite ao usuário interagir com um ambiente virtual semelhante ao seu local de trabalho, dotado de diversos dispositivos e informações. O operário pode observar fenômenos relacionados a possíveis acidentes e qual atitude deveria ser tomada diante o cenário simulado. O sistema também supervisiona e orienta o usuário em cada etapa do curso por meio de atividades voltadas para toda uma equipe de operação. Ainda é abordada a importância da utilização de uma biblioteca para o gerenciamento dos modelos que compõe a cena, bem como a fidelidade destes objetos em relação ao modelo real utilizado como base. Quanto a esse gerenciamento, um dos grandes obstáculos enfrentados pelo autor foi a busca pelas texturas específicas

dentro da vasta biblioteca de arquivos criada. Como alternativa, a criação de convenções no armazenamento de arquivos foi uma solução que se mostrou eficiente, uma vez que cada textura passou a ser associada a modelos 3D específicos e passaram a ser identificadas com mais facilidade.

O trabalho mostra uma solução interessante para subestações de forma generalizada. No entanto, foi possível observar grande diferença entre os equipamentos presentes entre as diversas usinas visitadas. Apesar da generalização se mostrar incompatível com o trabalho aqui apresentado, este correlato reforça a necessidade de criação de convenções para o armazenamento de objetos em uma biblioteca pois, em ambos os trabalhos, existe uma grande quantidade de modelos tridimensionais e de texturas a serem gerenciadas. Assim, a ausência de convenções no pipeline de desenvolvimento pode tornar o processo de gerenciamento caótico, principalmente neste trabalho que está sendo desenvolvido, pois os objetos modelados e texturas criadas são referentes a diversas Usinas Hidroelétricas diferentes, objetos que apesar de muito semelhantes, devem estar corretamente associados aos seus respectivos ambientes de origem no intuito de se garantir a integridade e fidelidade do ambiente virtual com o real (Wang, 2010). A Figura 5 mostra o conjunto de painéis virtuais utilizados na simulação apresentada pelo correlato.



*Figura 5 - Galeria de Painéis Virtual (Wang e Li, 2010).*

### 3.4 Application of the Virtual Reality Technologies in Power Systems

Tendo como objetivo principal aumentar a eficiência da simulação de subestações por meio da Realidade Virtual, Li Xiao e Hong (2010) promovem a necessidade da criação de um modelo virtual que auxilie técnicos que operam na geração de energia elétrica. No entanto, as abordagens mais utilizadas, como diagramas bidimensionais, fotos de equipamentos, fotos e vídeos registrados apresentam diversas desvantagens quanto a visualização, interação, imersão e imaginação. Aponta-se a dificuldade em se reproduzir virtualmente ambientes que auxiliem no entendimento dos processos que envolvem a geração de energia. Escopos atuais de treinamento carecem em flexibilidade de aplicação, formas de representação de modelos reais e limitada possibilidade de elaboração de cenários experimentativos. Oposta às formas tradicionais de treinamento, simulações em ambientes virtuais possibilitam a reutilização de componentes e eventos, tornando o treinamento mais cômodo, prático e eficiente.

Entre os aspectos fundamentais na construção do ambiente virtual proposto por Li Xiao e Hong (2010), seja ele para operação ou simulação, estão:

- Gerenciamento de Objetos
- Modelagem do Ambiente
- Seleção de Objetos Visíveis
- Renderização da Cena
- Detecção de Colisão
- Realização de Eventos
- Compilação de Scripts

A proposta também inclui o desenvolvimento de um *motor gráfico* próprio, capaz de coordenar diferentes componentes técnicos, prover diversas funções dentro da aplicação e acelerar seu desenvolvimento. Para tanto, é importante um planejamento e construção razoável de todas as classes e objetos que compõem o motor gráfico. Além disso, uma *Engine* bem elaborada, oferece um desenvolvimento flexível e um bom fluxo de trabalho para os envolvidos no desenvolvimento do ambiente.

O correlato também aborda a dificuldade de reutilização de objetos, bem como a importância de um pipeline para a geração eficiente de ambientes mais flexíveis e capazes de apresentar aspectos reutilizáveis. Os autores ainda apontam a dificuldade e a grande

quantidade de tempo necessário para se elaborar um motor gráfico e opta pela utilização do motor gráfico *Torque Game Engine*, a qual é *Open Source* e permite edições e ajustes definidos de acordo com a necessidade do desenvolvedor. Com a modificação e edição de algumas classes, os autores provaram a eficiência em se reformar um motor já existente para otimizar o desenvolvimento da proposta.

Devido a baixa eficiência apresentada pelas simulações de treinamento tradicionais, ambientes virtuais se fazem necessários (Li Xiao e Hong, 2010). Ao mesmo tempo, é importante o desenvolvimento de técnicas e métodos que otimizem a construção do ambiente tridimensional. Com um desenvolvimento planejado e ajustes em um motor de jogos já existente, foi possível reduzir o ciclo de desenvolvimento em até 40%. Por fim, foi possível reconhecer a superioridade de um ambiente de RV simulado, possibilitando interação e imersão, diante um ambiente de visualização convencional, além da importância em se reduzir o custo de desenvolvimento da aplicação.

### **3.5 Using Virtual Worlds to Explore Electric Power Grids and Plants**

Rivera (1999) propõe a criação de diversas ferramentas utilizadas em cursos voltados para sistemas de energia. Essas ferramentas promovem um nível de exposição inédito a sistemas e subsistemas. A noção espacial que a RV oferece raramente é abordada pelas metodologias convencionais de ensino e não podem ser adquiridas em uma única visita a hidrelétrica que está sendo estudada. Ter o modelo virtual de uma usina pode ajudar estudantes e operadores a adquirir mais conhecimento de uma forma acessível e prática.

Segundo o autor, o treinamento que antecede a operação em usinas, geralmente, é baseado em descrições físicas e modelos matemáticos. No melhor dos cenários, fotografias e esboços são utilizados para instruir operadores, enquanto excursões são eficazes, mas caras e apresenta fatores que limitam a quantidade de participantes, como o tamanho do grupo envolvido, indisponibilidade de alguns operários, transporte limitado, condições climáticas, entre outros.

É frequentemente abordada a importância da noção espacial de uma geradora, a qual não pode ser facilmente obtida por meio de imagens e mapas estáticos. Assim, com base no complexo de geração de energia elétrica de Porto Rico, todo um sistema de aprendizado foi

elaborado fazendo o uso de, principalmente, duas tecnologias: Virtual Reality Modeling Language (VRML) na descrição de objetos tridimensionais complexos e o QuickTime VR, que permite a visualização de filmes interativos capturados em 360°.



*Figura 6- Exemplo de Visualização de um ambiente real por Meio do QuickTime VR. (SERRA, 2008)*

A proposta foi desenvolvida de forma a instruir pessoas por meio de vídeos e modelos tridimensionais, os quais podem ser acessados de forma interativa. Para tanto, um modelo tridimensional de toda a ilha foi construído por meio de imagens de satélites, sendo dotado de informações topográficas reais. Apesar de confirmar a contribuição da utilização de cenários topograficamente corretos e modelos tridimensionais descritivos de forma geral, a utilização de vídeos e imagens panorâmicas se mostrou eficiente em um contexto de treinamento, enquanto sua utilização na operação não foi abordada. Além disso, observa-se por meio deste correlato a relevância dos ambientes virtuais na aquisição de um modelo mental do ambiente de trabalho, bem como uma noção mais precisa dos dispositivos envolvidos no processo de operação de uma geradora de energia elétrica.

### **3.6 RVCEMIG: A Virtual Reality System for Real Time Control of Electric Substations**

A partir da utilização de ambientes virtuais baseados em geradoras elétricas reais, o trabalho RVCEMIG promove a possibilidade de manutenção e operação de subestações por meio da Realidade Virtual. Atualmente, diagramas bidimensionais são utilizados no gerenciamento de aproximadamente 60 subestações, no entanto, não dispõem de interfaces naturais e intuitivas. A utilização destes ambientes virtuais se estende também para o treinamento de futuros funcionários através das possibilidades de imersão e interações intuitivas (Cardoso et. al, 2013).

Usuários podem navegar pelos ambientes tridimensionais associados às subestações reais e adquirir um modelo mental capaz de contribuir com o processo de operação sem a necessidade de constante deslocamento até o ambiente real. O processo de manutenção acontece em um contexto no qual alguns funcionários tiveram poucas ou nenhuma oportunidade de realizar visitas à subestação real sobre a qual realizam suas atividades. Assim, os ambientes virtuais elaborados no RVCEMIG não contribuem somente com novos funcionários, mas também contribuem com funcionários que já operam geradoras de energia.

Quanto aos dispositivos de interação, teclado e mouse em um computador convencional podem ser utilizados para a manipulação do sistema. Para uma navegação mais intuitiva, também é possível o uso de um joystick ou gamepad. Para maiores níveis de imersão, a possibilidade de renderização estereoscópica foi implantada e pode ser aproveitada com o uso de óculos de Realidade Virtual sincronizados a um monitor dotado dos requisitos necessários para a apresentação de conteúdo estereoscópico.

A possibilidade de operação existe devido a construção de uma interface natural associada aos equipamentos reais. Um Web Service foi construído e é responsável pela conexão entre os dados existentes na Central de Operação e Controle e a interface do sistema RV. Para o devido funcionamento do serviço, acesso a internet é mandatório e assim, uma alteração no ambiente virtual implica em mudanças no mundo real. A Figura 7 demonstra a utilização do sistema e uma amostra do ambiente virtual.



*Figura 7 – Interação com o sistema virtual RVCEMIG (Cardoso et. al., 2013)*

Assim, o RVCEMIG confirma a possibilidade de utilização de modelos virtuais apoiados em ambientes reais como forma de contribuição na geração de energia elétrica de forma geral. Por meio deste correlato, foi possível observar o impacto da utilização da Realidade Virtual dentro do contexto de uma concessionária de energia elétrica nas diversas etapas da geração, que vão desde o treinamento de novos funcionários até a manutenção das máquinas reais. Também foi possível comprovar a possibilidade de operação em tempo real utilizando a proposta desenvolvida por meio de uma interface intuitiva que permite uma associação rápida entre o modelo representativo e o objeto real. Assim, ficam claros os benefícios da utilização de ambientes virtuais na manutenção e operação de subestações de energia elétrica, benefícios estes que podem ser estendidos a usinas hidrelétricas, as quais dispõem de equipamentos semelhantes e uma maior quantidade de ambientes a serem explorados pelos funcionários.

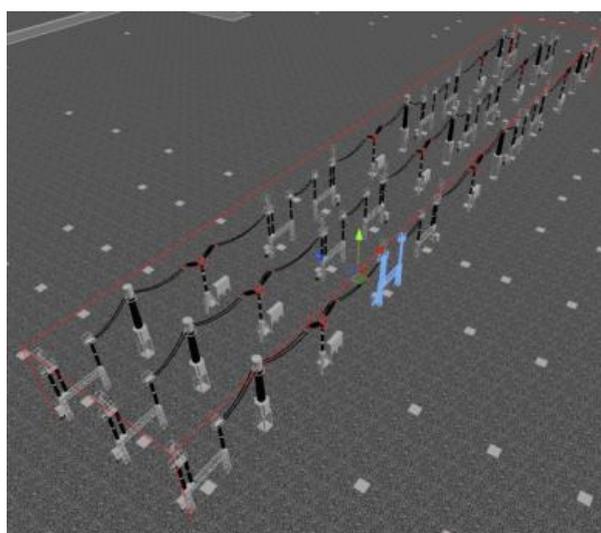
### **3.7 Uma Estratégia Para Otimizar a Geração de Arranjos em Subestações Virtuais de Energia Elétrica**

Barreto et. al. (2016), apresentam métodos para a criação de arranjos de campo, automatizando a elaboração e a distribuição de equipamentos elétricos em uma cena virtual. Foi possível comprovar a possibilidade de redução no tempo de fabricação em larga escala de ambientes voltados para subestações de energia elétrica. Esse tipo de abordagem também é capaz de minimizar erros e melhorar o processo de construção dos AVs. O correlato valoriza

a importância da padronização no processo de construção de um ambiente virtual, bem como uma distribuição eficiente de modelos em uma cena. A partir da identificação de padrões observados nos conjuntos reais, o autor foi capaz de elaborar uma estratégia de desenvolvimento associada ao motor de jogos utilizado na elaboração das cenas interativas. Sua solução adiciona uma interface customizada ao seu ambiente de desenvolvimento e permite adaptar técnicas que constituem estruturas de dados, usadas para organizar o conteúdo disposto na cena de forma hierárquica.

Este correlato contribui, principalmente, com a apresentação de uma metodologia que foi capaz de melhorar a qualidade da cena virtual final e reduzir o tempo de dedicação necessário na construção de ambientes virtuais de subestação. Barreto et. al. (2016) também confirma a possibilidade de ajustes automáticos nos conjuntos de objetos abordados, como posicionamento automático de modelos e ajustes na malha tridimensional, representando mais uma contribuição no processo de construção.

Em suma, o correlato demonstra a extensão das funcionalidades do motor gráfico utilizado na proposta, a Unity 3D, por meio de uma ferramenta de edição GUI (Graphical User Interface) baseada em diagramas de fluxo. Cada diagrama constitui um arranjo de objetos tridimensionais utilizados com frequência em Subestações virtuais, sendo que é possível a edição e a configuração dos diagramas antes mesmo da geração dos conjuntos de modelos na cena.



*Figura 8 - Posicionamento de arranjo disjuntor e meio em um pátio de subestação de energia elétrica (Barreto et. al., 2016).*

A subestação virtual de Sete Lagoas foi utilizada na comparação entre a confecção manual e a elaboração semiautomática proposta pelo correlato. Como resultado, enquanto a montagem manual demandou um total de 2 horas e 7 minutos para finalização do AV, a montagem semiautomática demandou um total de 1 hora e 4 minutos. Assim, foi possível constatar uma redução no tempo de montagem de 49,7%. A subestação de São Gotardo também foi utilizada para comparação e foi possível constatar uma redução de 40% no tempo de montagem da cena com o uso da metodologia proposta pelo correlato.

Este trabalho relacionado comprova a possibilidade de aplicação de metodologias na montagem de cenas virtuais, tornando o processo de construção tridimensional mais eficiente e melhorando a qualidade final dos ambientes virtuais. A descoberta de Barreto (et. al. 2016) representa uma solução capaz de contribuir com o trabalho que está sendo desenvolvido aqui, uma vez que ambos valorizam melhorias nas etapas de produção e entregam processos que resolvem o problema do consumo de uma grande quantidade de tempo na elaboração de ambientes virtuais.

### **3.8 Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados**

Por meio do estudo dos correlatos, observa-se a relevância da utilização de ambientes virtuais no contexto da geração de energia elétrica. Há diversas menções à importância da reutilização de objetos para uma redução no tempo de trabalho, tempo que pode ser investido em melhorias no próprio ambiente. Para tanto, foi frequentemente relatada a utilização de práticas e adequações durante todo a produção de ambientes virtuais, um aspecto que deverá ser incorporado no trabalho.

Apesar de apresentarem soluções no setor da geração, nota-se uma grave deficiência quanto a generalização de técnicas para utilização em outros ambientes virtuais. Geralmente, estes trabalhos apresentam soluções voltadas para uma instalação específica. Os conceitos e as boas práticas de produção apresentadas, definitivamente, contribuem com diversos trabalhos deste domínio, no entanto, técnicas específicas para a elaboração de ambientes virtuais não são muito abordadas. Apesar dos correlatos enaltecem a otimização da construção tridimensional e o impacto da RV para no setor elétrico, é importante a abordagem de técnicas de construção tridimensional para que ambientes de mesma natureza possam ser reproduzidos em tempo hábil.

A Tabela 1 apresenta um quadro comparativo entre os trabalhos correlatos estudados. A comparação foi feita a partir de quatro critérios fundamentais que podem contribuir com esta dissertação. Entre eles estão a possibilidade de se estender a contribuição destes correlatos à proposta, a especificação de técnicas que contribuam para a construção tridimensional dos ambientes virtuais, aspectos capazes de otimizar o processo de geração dos ambientes interativos e, finalmente, a qualidade visual final da aplicação entregue.

Critério \ Correlato	3D Map Generation	Substation Training	VR in Power Systems	Virtual Electric Power Grids	RVCEMIG	Arranjos em Subestações Virtuais	Geração de Arranjos em Subestações Virtuais
Aplicabilidade em Diversos Projetos	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Definição de Técnicas para Geração de AV	✓	✗	*	*	✗	✓	✓
Otimização no Processo de Produção	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓
Solução Dotada de Recursos Visuais	✓	✓	✗	*	✓	✓	✓

✓ - SIM      ✗ - NÃO      \* - FORMA PARCIAL OU APROXIMADA

Tabela 1 - Quadro comparativo entre os trabalhos correlatos

Por meio da Tabela, é possível observar a importância dada a otimização do processo de produção e as incertezas quanto a utilização de técnicas específicas para geração dos ambientes virtuais propostos nos trabalhos. Em todo caso, os correlatos foram utilizados como inspiração em várias etapas do desenvolvimento. Doi et. al. (2014) comprovou a viabilidade de apresentação de dados topográficos das usinas a serem elaboradas. O trabalho de Wang (2010) ratificou a importância da abordagem de painéis de proteção de uma hidrelétrica, Xiao(2010) valoriza a otimização da montagem da cena virtual, enquanto Rivera (1999) confirma a importância da RV para treinamento e futura operação em sistemas de

geração. Cardoso et. al. (2013) apresentam a importância da utilização de sistemas virtuais nas diversas etapas que constituem o processo de operação de geradoras elétricas e, finalmente, Barreto et. al. (2016) confirma que a aplicação uma metodologia voltada para a montagem de cenas pode otimizar o processo de produção de ambientes virtuais e contribuir com todo o projeto de Realidade Virtual.

## Capítulo 4

# Arquitetura do Sistema

### 4.1 Introdução

Este capítulo objetiva apresentar a arquitetura do sistema, bem como os aspectos necessários para a criação de cada um dos ambientes e uma visão geral de toda a aplicação. Também são apresentados quais ambientes foram reproduzidos virtualmente e quais foram os critérios utilizados para a sua seleção. Também são descritos cada um desses ambientes e como é realizado o processo de registro de insumos utilizados para a modelagem e montagem de cena.

### 4.2 Casos de Uso do Sistema

A partir das possibilidades de interação com o sistema, a Figura 17 apresenta o diagrama de caso de uso abordando as principais etapas da operação assistida pelo Sistema de Realidade Virtual. Observa-se a possibilidade de intervenção por meio de um ou mais operadores, em um contexto no qual o sistema deve ser capaz de auxiliar os atores envolvidos na operação tornando mais fácil a identificação de equipamentos que exigem atenção e mais intuitivo processo de manutenção por meio do retorno visual associado ao mundo real.

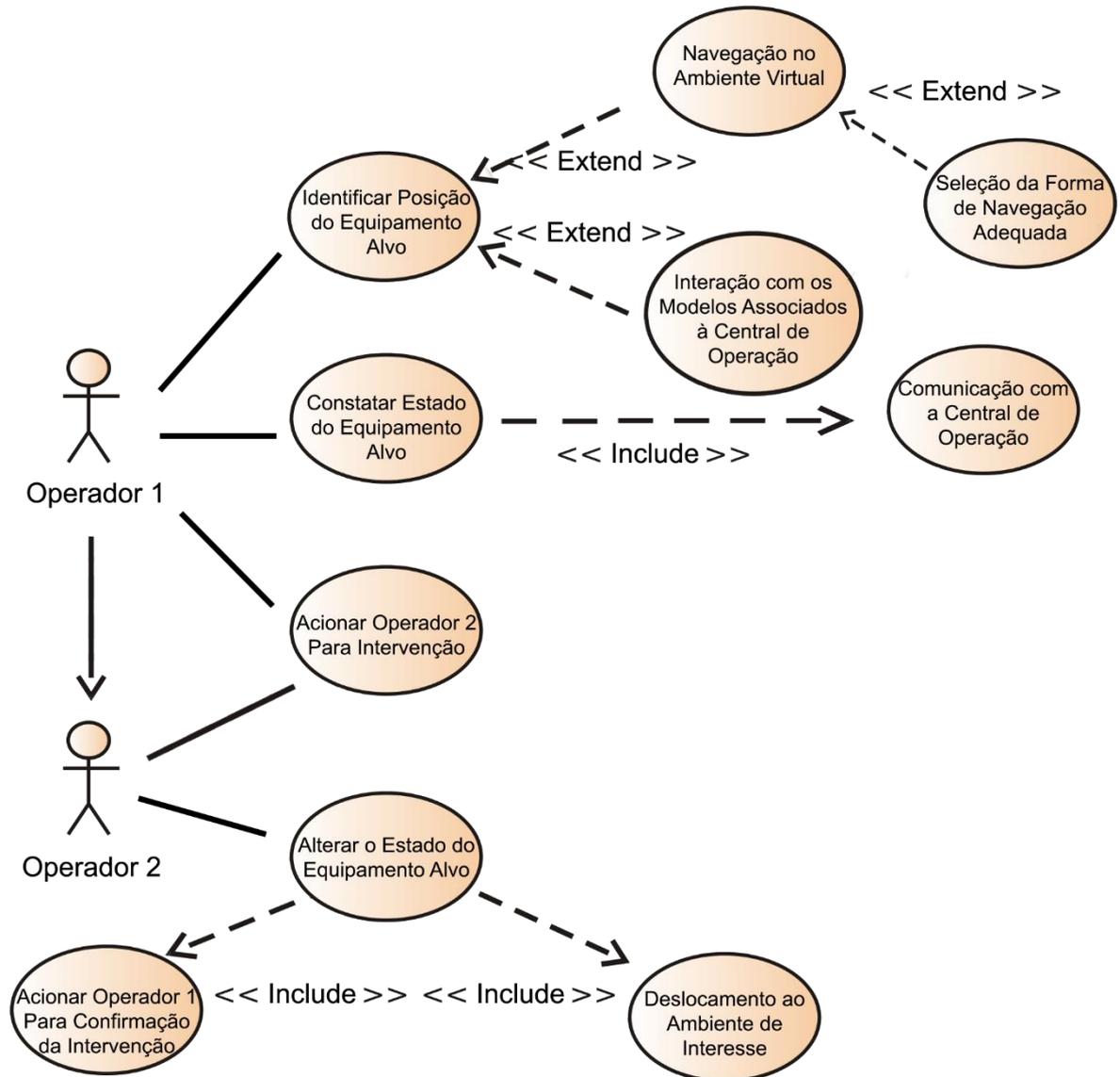


Figura 9 - Diagrama de Casos de Uso do Sistema.

### 4.2.1 Descrição dos Casos de Uso do Sistema

Tabela 2 - Descrição do Caso de Uso - "Identificar a Posição do Equipamento"

<b>Caso de Uso</b>	Identificar a Posição do Equipamento
<b>Ator Principal</b>	Operador 1
<b>Descrição</b>	Permitir que o usuário seja capaz de localizar o equipamento que exige atenção por meio dos ambientes virtuais.
<b>Pré-Condição</b>	Acesso ao sistema de Realidade Virtual
<b>Fluxo Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acessar os ambientes virtuais</li> <li>2. Navegar até o equipamento de interesse</li> <li>3. Identificação do equipamento</li> </ol>
<b>Fluxos Alternativo</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alternar entre as formas de navegação</li> </ol>
<b>Pós-Condição</b>	-

Tabela 3 - Descrição do Caso de Uso - "Constatar Estado do Equipamento Alvo"

<b>Caso de Uso</b>	Constatar Estado do Equipamento Alvo
<b>Ator Principal</b>	Operador 1
<b>Descrição</b>	Por meio dos ambientes virtuais, permitir que o operador seja capaz de identificar o estado atual do equipamento.
<b>Pré-Condição</b>	Acesso ao sistema de Realidade Virtual
<b>Fluxo Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Navegar até o equipamento de interesse</li> <li>2. Interagir com o modelo representativo</li> <li>3. Por meio da interface apresentada, identificar o estado do equipamento, bem como a sua localização no ambiente real.</li> </ol>
<b>Fluxos Alternativo</b>	-
<b>Pós-Condição</b>	-

Tabela 4 - Descrição do Caso de Uso - "Acionar Operador 2 Para Intervenção"

<b>Caso de Uso</b>	Acionar Operador 2 Para Intervenção
<b>Ator Principal</b>	Operador 1
<b>Descrição</b>	Identificado o equipamento alvo, advertir o segundo operador responsável por realizar a manutenção.
<b>Pré-Condição</b>	-
<b>Fluxo Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alertar o segundo operador</li> <li>2. Comunicar a posição do equipamento alvo</li> <li>3. Aguardar o Feedback do Operador 2</li> </ol>
<b>Fluxos Alternativo</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descrever a posição do equipamento por meio da representação visual oferecida pelo sistema de Realidade Virtual.</li> </ol>
<b>Pós-Condição</b>	-

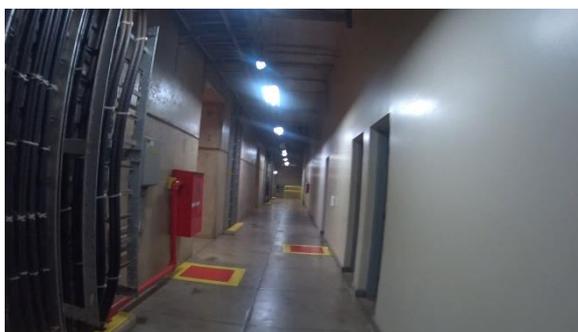
Tabela 5 - Descrição do Caso de Uso - "Alterar o Estado do Equipamento Alvo"

<b>Caso de Uso</b>	Alterar o Estado do Equipamento Alvo
<b>Ator Principal</b>	Operador 2
<b>Descrição</b>	Realizar a manutenção no equipamento alvo.
<b>Pré-Condição</b>	Contato com o Operador 1
<b>Fluxo Principal</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Deslocamento até o equipamento que exige o processo de operação</li> <li>2. Executar a manutenção</li> </ol>
<b>Fluxos Alternativo</b>	-
<b>Pós-Condição</b>	Reportar a situação da intervenção para o Operador 1

### 4.3 Ambientes Reais de Usinas Hidrelétricas

Como ponto de partida, visitas a usinas hidrelétricas foram promovidas no intuito de se obter requisitos de modelagem, os quais são armazenados na forma de fotos e vídeos. No entanto, foi observada a grande complexidade estrutural nas usinas. Assim, a modelagem de todos os ambientes de forma convencional é uma tarefa que pode ser inviável, caso diversas usinas estejam presentes no escopo de uma proposta. Apesar do presente trabalho apresentar técnicas desenvolvidas para serem aplicadas a diversos espaços hidrelétricos, é de grande importância uma reprodução fiel do ambiente modelado, visto que cada complexo visitado apresenta características estruturais únicas.

As geradoras visitadas apresentavam ambientes diversos, amplos e complexos, sendo que vários destes não são constantemente frequentados por operadores e não apresentavam muitas informações para a geração de forma geral. Um exemplo destes ambientes foi observado na usina de Nova Ponte. A Figura 8 apresenta um corredor próximo a Galeria Mecânica que dá acesso à salas como o setor de almoxarifado e a sala de ventiladores que, por sua vez, promove a circulação do ar dentro do complexo garantindo o conforto dos funcionários. Esse é um exemplo de ambiente que não fornece informações para o Centro de Operação e Controle (COS) e a sua construção tridimensional representaria um processo trabalhoso e não tão relevante para a operação. Observou-se que equipamentos monitorados pela Central de Controle são inerentes para o processo de manutenção das hidrelétricas e, por isso, este é o critério utilizado que define se um equipamento deve ou não ser abordado pelos ambientes virtuais.



*Figura 10 - Setor desnecessário para o desenvolvimento da proposta.*

Existem também ambientes que abrigam tubulações diversas e dão acessos à outros setores. Estes são mais exemplos de ambientes que não serão modelados pela ausência de informações enviadas ao centro de operação e por apresentarem uma estrutura complexa que resultará em um longo processo de modelagem, como mostra a Figura 9.



*Figura 11 - Fotos das instalações reais – fonte: Autor.*

Em um primeiro momento, um total de seis usinas foram visitadas, registros fotográficos foram armazenados, os quais foram analisados e estudados. Somada as observações feitas, entrevistas foram realizadas com funcionários que atuam dentro e fora das hidrelétricas, bem como gerentes de operação para a obtenção de uma visão mais ampla dos processos que envolvem a operação. A partir deste processo, observou-se, por demanda do processo de operação e controle, que três ambientes das Usinas são de maior frequência de funcionários, concentração de atividades e de elementos de controle:

- Galeria Elétrica: este ambiente abriga os painéis associados às geradoras e, dada a importância deste sistemas de proteção, esta galeria será construída abordando cada um destes componentes na forma de objetos tridimensionais baseados nos modelos originais que estão sendo utilizados.
- Galeria Mecânica: as estações geradoras adotam diferentes configurações entre as hidrelétricas que serão reproduzidas. Assim, o ambiente onde estão alojadas tais máquinas será constituído tridimensionalmente evidenciando as particularidades estruturais de cada componente.
- Pátio de Transformadores: a relevância deste ambiente está na presença dos para-raios e transformadores, elementos fundamentais na geração e que estão diretamente ligados, por meio de cabos, a subestação associada a hidrelétrica.

Cada ambiente possui particularidades quanto a sua estrutura e funções, no entanto, são ambientes presentes em todas as usinas e agregam uma grande quantidade de informações necessária para a operação.

### 4.3.1 Galeria Elétrica

Espaço que compreende painéis de proteção, controle e sincronização das máquinas geradoras que, geralmente, estão dispostos de forma linear em torno de um corredor, adotando ordenamento e configuração diferente entre as diversas usinas visitadas – Figura 10. Estes painéis apresentam informações relacionadas a medição de tensão, alarmes associados a cada uma das máquinas geradoras e possibilitam operações associadas as mesmas geradoras, podendo apresentar informações como a velocidade e controle dos motores. Apesar de apresentar registros analógicos não acessíveis à central de controle, grande parte dos dados dispostos nos painéis de proteção são gerenciáveis e podem ser abordados na construção tridimensional para uma futura implantação do trabalho na operação. Cada usina dispõe os equipamentos deste ambiente com uma ordenação diferente e a grande quantidade de painéis e informações apresentadas demandam do operador um domínio do ambiente onde atua.



*Figura 12 - Galeria Elétrica da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte*

### 4.3.2 Galeria Mecânica

Geralmente, é o espaço mais amplo da usina e abriga todas as máquinas geradoras, bem como o acesso para manutenção das mesmas (Figura 11). Também é um espaço que adota estruturas variadas entre as usinas visitadas, tanto no que se refere à disposição espacial quanto na configuração da máquinas geradoras. Em alguns complexos, as máquinas geradoras são subterrâneas, mas podem ter sua estrutura exposta, como observado em algumas das hidrelétricas visitadas. Este ambiente também abriga os cilindros de pressão, o qual é monitorado pelo COS e, em caso de sinistro, um alarme é acionado demandando do operário que estiver presente, o deslocamento até o local para confirmação do estado do equipamento. Cada máquina possui um barramento blindado que fica conectado até o transformador principal e também está presente nesse ambiente.



Figura 13 - Galeria Mecânica da Usina Hidrelétrica de Miranda.

### 4.3.3 Pátio dos Transformadores

É a área externa do complexo hidrelétrico que abriga os transformadores responsáveis pela elevação da tensão. Também existem transformadores reserva com dimensões menores e Para-raios (Figura 12). A representação dos cabos presentes neste ambiente também é importante, pois os para-raios ali presentes estão conectados às máquinas transformadoras e à subestação próxima ao complexo hidrelétrico. Ainda existe um sistema contra incêndio que faz uso de água nebulizada voltado para os transformadores e para-raios que são distribuídos

neste pátio. O Pátio dos Transformadores representa a área mais ampla a ser modelada e com equipamentos de maior dimensão. Dada a localização deste ambiente, detalhes como vegetação e a estrutura externa do complexo devem ser abordados na modelagem, uma vez que o sistema deve ser capaz, também, de auxiliar operadores a se situarem no seu ambiente de trabalho. Para este fim, um ambiente virtual coerente e mais próximo do real deve ser construído.



Figura 14 - Pátio de Transformadores da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

## 4.4 Arquitetura

A partir dos insumos devidamente capturados e documentados, a produção entra em um ciclo de modelagem para a geração de cada ambiente virtual, ciclo este que envolve a reutilização de objetos, texturização, *Scripts* otimizadores, entre outros. Finalizadas as quatro cenas referentes a uma hidrelétrica (Cena Topográfica, Galeria Elétrica, Mecânica, Pátio), os ambientes são integrados e associados a uma hidrelétrica específica que será adicionada ao mapa que abrange todas as geradoras. Por fim, o usuário será capaz de interagir com as construções virtuais e acessar, de forma prática, equipamentos referentes à manutenção e operação das hidrelétricas. A Figura 13 apresenta a descrição do processo que vai desde a obtenção do material relevante para a modelagem até um cenário de interação do usuário final com um sistema que suporta a operação elaborado a partir dos ambientes virtuais construídos.

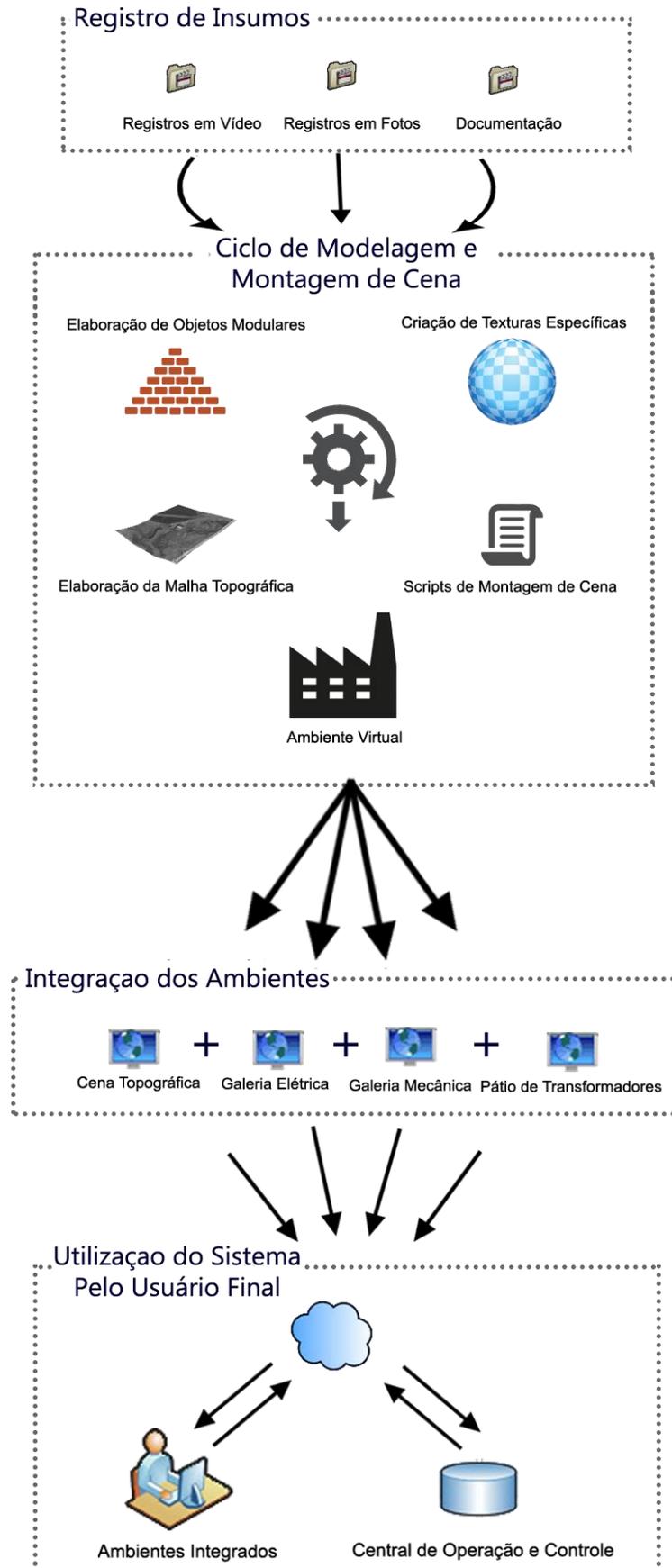


Figura 15 - Arquitetura do Processo de Elaboração dos Ambientes Virtuais.

### 4.4.1 Registro de Insumos

Definidos os ambientes a serem construídos virtualmente, foram estabelecidas as práticas para registro dos insumos utilizados como referência na construção tridimensional dos ambientes propostos. Por trata-se de uma modelagem estimada a partir de um ambiente real, registros em formas de fotos e vídeos para serem usados são fundamentais. Na ausência de plantas que retratam, de forma fiel, a largura, comprimento e escala dos diversos ambientes que compõe a edificação, filmagens estrategicamente realizadas são de grande auxílio no processo de modelagem.

Para a construção dos modelos virtuais representativos de cada Usina Hidrelétrica envolvida no projeto, o registro de vídeos e fotos é fundamental. Três áreas comuns para todos os complexos hidrelétricos serão construídas virtualmente: Galeria Elétrica, Galeria Mecânica e Pátio dos Transformadores. Cada área apresenta particularidades e o registro adequado de vídeos e fotos é essencial na construção virtual de tais ambientes. Por isso, é importante estar atento à forma de registro para que os modeladores consigam garantir um bom fluxo de trabalho e o produto final seja fiel ao ambiente real.

Para o registro dos vídeos necessários para a construção dos ambientes, os responsáveis realizaram a filmagem se locomovendo para dar uma melhor noção espacial, abrangendo também todo teto, paredes e piso para facilitar a modelagem. Na Galeria Mecânica, é importante, também, o registro da região inferior do ambiente para a construção de um modelo tridimensional mais completo e fiel, bem como detalhes e modelos menores para a modelagem, como o Guindaste que assiste a manutenção das geradoras. O processo de registro em vídeo é baseado em movimentações panorâmicas para que seja possível identificar aspectos espaciais do ambiente e aspectos visuais que devem ser reproduzidos, como a coloração adotada para a parede, piso e teto (Figura 14).



*Figura 16 - Registro em Vídeo da Galeria Mecânica da Hidrelétrica de São Simão*

O Pátio de Transformadores representa o ambiente mais amplo e dotado de informações visuais não existentes nos outros ambientes, como o céu e vegetação, por exemplo. Por isso, é importante que vídeos sejam registrados de diversos pontos, abrangendo a área em 360° levando em consideração o piso, os cabos e o local onde é feita a conexão. Quanto a Galeria Elétrica, é de extrema importância o registro de um vídeo que percorra todo o corredor, para a devida contagem dos painéis existentes dentro da galeria.

Quanto a outros tipos de equipamentos, como máquinas geradoras, exaustores e transformadores, fotos tiradas de diversos ângulos e distâncias dão uma melhor noção espacial e expõem elementos ocultos quando o equipamento é visualizado somente por uma visão frontal. A partir das informações adquiridas e arquivadas, padrões foram observados, o que possibilitou o desenvolvimento de técnicas aplicáveis a complexos hidrelétricos de forma mais ampla.

#### **4.4.2 Ciclo de Modelagem e Montagem de Cena**

A partir da aquisição de insumos referentes a uma dada usina hidrelétrica, é iniciado o ciclo de reprodução tridimensional dos ambientes propostos. O primeiro momento da geração de uma usina virtual é a obtenção de uma malha obtida a partir de informações topográficas reais, pois este é o primeiro ambiente com o qual o usuário tem contato antes de visitar um dos três espaços reproduzidos. Modelos representativos das instalações das hidrelétricas e da subestação associada previamente preparados são inseridos, completando assim a

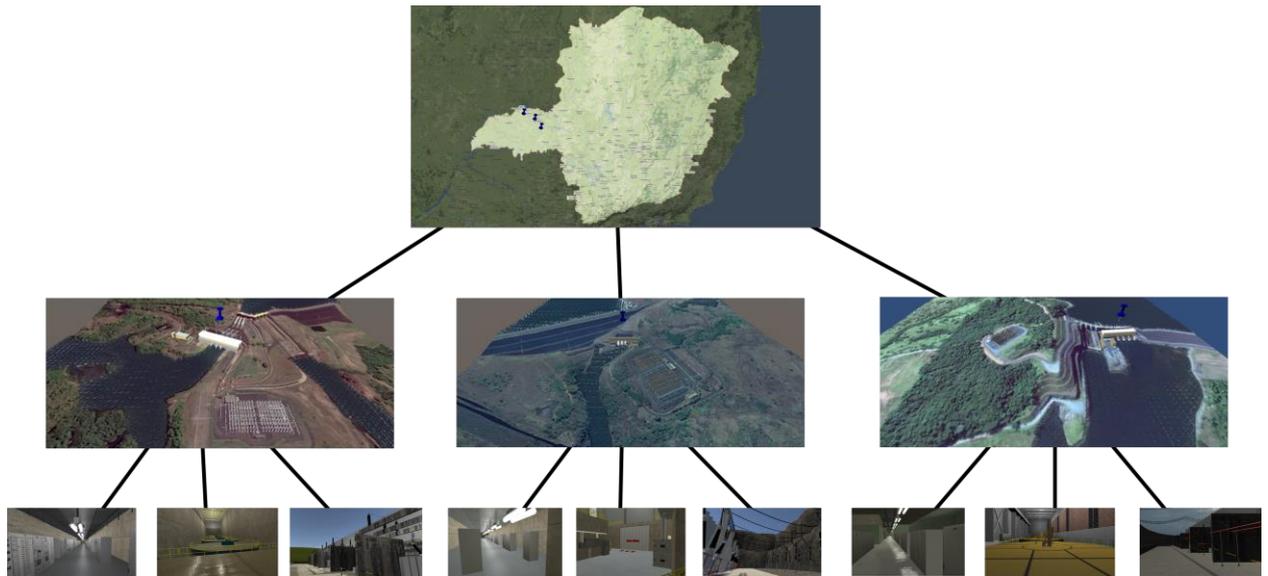
construção tridimensional deste ambiente. Posteriormente é realizada a elaboração de objetos 3D, bem como a criação de texturas específicas.

Como a modularização permite a reutilização de objetos em diversas cenas, anterior a modelagem de componentes novos, é realizada uma seleção dos módulos já elaborados para usinas anteriores que podem ser reaproveitados para acelerar o processo de desenvolvimento. Preparados todos os modelos tridimensionais necessários, a montagem de cena é iniciada, uma etapa constantemente associada a utilização de scripts que auxiliam na distribuição de objetos, como os painéis de proteção e a geração de cabos, por exemplo.

### **4.4.3 Integração dos Ambientes**

Terminado o ciclo de montagem de cena, um conjunto de quatro cenas virtuais são geradas. No entanto, não existe nenhuma relação entre elas. Assim, é dado o início do processo de integração dos ambientes, que consiste na devida associação entre os espaços virtuais gerados. Primeiramente, na Cena Topográfica, é inserido o menu que permite ao usuário a seleção entre os três ambientes referentes a hidrelétrica que está sendo reproduzida: Galeria Elétrica, Galeria Mecânica e Pátio de Transformadores. Para finalizar, é implantada a possibilidade de se alternar entre os três ambientes por meio do deslocamento do Avatar, oferecendo ao usuário duas formas diferentes de navegação.

A integração final dos ambientes acontece em uma cena que compreende cada usina hidrelétrica reproduzida, a Cena Mapa. Este ambiente permite a seleção da hidrelétrica de interesse a partir da distribuição geográfica das geradores pelo estado de Minas Gerais. A figura 16 ilustra a relação entre as hidrelétricas a partir dos ambientes virtuais.



*Figura 17 - Associação entre os Ambientes Virtuais.*

#### **4.4.4 Utilização do Sistema Pelo Usuário Final**

Com a conclusão do processo de integração, o usuário já será capaz de navegar entre os ambientes reproduzidos e relacionar a representação virtual com o seu local de trabalho. Carvalho (2016) confirma a possibilidade de associação um AV ao COS de uma geradora que, por sua vez, agrega informações dos equipamentos que são monitorados e disponibilizam dados para os operadores por meio de interfaces convencionais. Nesta comunicação, a internet é utilizada como meio intermediário entre os ambientes virtuais e as informações obtidas da Central de Operação e Controle, sendo um recurso indispensável para a execução de atividades em tempo hábil de operação.

# Capítulo 5

## Detalhes da Implementação

### 5.1 Introdução

Um total de quatro ambientes serão elaborados para cada hidrelétrica incluída no escopo da proposta: Cena Topográfica, Galeria Elétrica, Galeria Mecânica e Pátio de Transformadores. Cada ambiente apresenta particularidades e demandam a aplicação de diferentes tipos de técnicas utilizada na construção da cena.

### 5.2 Tecnologias de Suporte

Para o desenvolvimento deste trabalho, técnicas e recursos associados a um conjunto de softwares foram utilizados. Para que essa combinação fosse possível, todos os arquivos foram gerados de tal forma a serem compatíveis entre os softwares que serão abordados.

#### 5.2.1 3ds Max

O Software de modelagem 3DS Max é considerado umas das soluções desktop mais eficazes disponíveis hoje para o trabalho gráfico 3D (Autodesk, 2016). É muito utilizado em diversos setores artísticos e comerciais, como jogos, arquitetura, produções cinematográficas, web design, visualização médica e científica, realidade virtual, entre outros. O programa permite diversas formas de modelagem tridimensional, permitindo que o usuário ajuste sua experiência de acordo com a sua necessidade. É possível a utilização de primitivas, linhas, scripts e até mesmo parâmetros para a criação de objetos 3D mais elaborados (Matossian, 2006).

O 3ds Max foi o software escolhido para modelagem devido a sua natureza precisa, utilizada principalmente na arquitetura em engenharia. Sua interface permite a rápida evolução de objetos tridimensionais, os quais podem ser exportados em diversos formatos para uma melhor compatibilidade com outros Softwares. Além de ser uma solução altamente inteligível, é possível a utilização de licenças estudantis gratuitas para uma experiência completa e gratuita com a ferramenta.

Como este trabalho é voltado para a engenharia, todos os recursos que preservam a precisão de modelos e uma maior acurácia foram muito aproveitados, possibilitando a geração de modelos mais convincentes e precisos, se comparados aos modelos presentes no mundo real. O processo de mapeamento de texturas é altamente otimizado nesta ferramenta e convenções de modelagem foram adotadas no intuito de garantir um melhor fluxo de trabalho e padronizar todos os objetos que irão constituir o ambiente virtual completo. Vale lembrar a importância das convenções utilizadas neste Software, uma vez que os modelos aqui gerados serão utilizados em uma Engine capaz de administrar interações em tempo real.

### **5.2.2 SketchUp e Google Earth**

O SketchUp é um software de modelagem 3D voltado, principalmente, para a arquitetura, engenharia civil e mecânica, entre outros. O Software ainda conta com uma biblioteca online de modelos e plug-ins, chamada de 3D Warehouse, onde usuários podem contribuir disponibilizando suas soluções (SketchUp, 2016). Já o Google Earth propõe o mapeamento do globo pela superposição de imagens, obtidas via satélite e fotografias aéreas, em um planeta tridimensional. Originalmente disponibilizava diferentes licenças mas, atualmente, sua versão Pro é gratuita exigindo apenas um cadastro no serviço (Google Earth, 2016).

Apesar de apresentar facilidade quanto a sua utilização para modelagem, o SketchUp foi utilizado somente para a obtenção da malha tridimensional de uma região específica do globo. Para tanto, um plug-in foi obtido por meio da 3D Warehouse, responsável pela associação com o Software Google Earth na captura de informações topográficas de uma região a sua conversão em um objeto tridimensional.

### 5.2.3 Unity3D

O Unity3D é uma Engine de jogos muito popular no mercado que permite a criação de aplicações bidimensionais ou tridimensionais. É multiplataforma e apresenta serviços integrados que aceleram o processo de desenvolvimento (Unity3d, 2016). Um dos principais critérios utilizados na escolha do motor foi a rica documentação disponível pelos desenvolvedores a existência da Unity Community, um fórum populado por diversos integrantes dispostos a solucionar dúvidas de desenvolvedores. Neste mesmo fórum, usuários podem compartilhar experiências e apresentar soluções que podem ser extremamente úteis para outros desenvolvedores.

O sistema de desenvolvimento da Engine permite uma rápida evolução do processo interativo existente em uma aplicação. Diversos são os recursos oferecidos pelo motor que foram utilizados durante o desenvolvimento, como o seu pipeline de importação dotado de uma grande lista de compatibilidade, a Asset Store que abriga uma grande quantidade de extensões gratuitas, sistema de partículas pré definido, sistema de iluminação completo, entre outros.

Devido a grande variedade de modelos e tipos de arquivos, convenções quanto a organização dos arquivos que compõe todo o projeto foram adotadas, o que possibilitou a aplicação de técnicas que serão abordadas em seguida.

#### 5.2.3.1 Unity Editor Script

A Unity permite a extensão da sua interface editora com propriedades e funcionalidades definidas pelo usuário. É possível a criação de uma janela editora, que pode ser customizada de acordo com a necessidade do usuário. Esta é uma maneira de adicionar uma interface para um sub-sistema voltado à aplicação. Com a possibilidade de se criar uma janela ajustável e a adição de funcionalidades, comprova-se uma significativa melhoria no processo de produção, uma vez que é possível ajustar todo o motor gráfico às demandas da aplicação;

Neste trabalho, especificamente, um conjunto de quatro interfaces desenvolvidas por meio deste recurso da Engine foram elaboradas. A decisão de elaboração de janelas separadas

se deu pelas funcionalidades apresentadas por cada uma, que diferem muito em objetivo e prática. As interfaces desenvolvidas, que serão abordadas, são:

- Geração de Cabos
- Geração de Painéis
- Configuração de Mapa
- Distribuição de módulos.

### **5.2.3.2 Prefabs**

Geralmente, a construção de um objeto na cena se dá por meio da adição de componentes e configuração de propriedades. No entanto, este processo pode apresentar problemas, principalmente quando um mesmo objeto é reutilizado múltiplas vezes. Uma simples cópia de um objeto presente em uma cena produz ambiguidades e não evita a necessidade de se realizar a mesma edição repetidamente.

Diante um cenário onde o retrabalho compromete o desenvolvimento da proposta, a Unity oferece um tipo de recurso intitulado como Prefab que, por sua vez, permite o armazenamento de objetos já configurados e prontos para serem reaproveitados em diversas cenas. Este Prefab funciona como um padrão, do qual é possível a criação de instancias em cena. Qualquer modificação realizada sobre um Prefab refletem imediatamente em todas as instâncias produzidas a partir do objeto original, mas o usuário ainda pode sobrescrever componentes e configurações para cada instância individualmente.

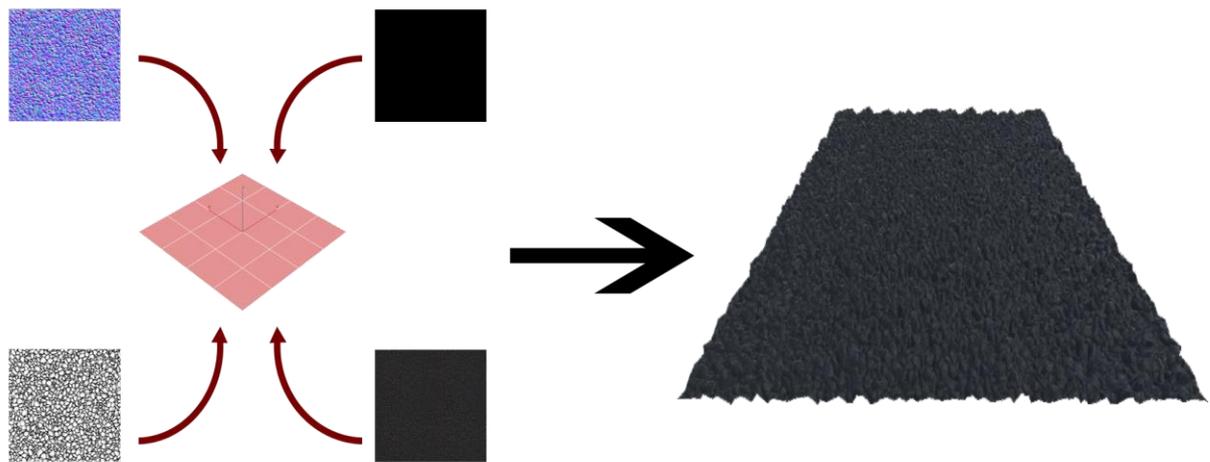
No trabalho, a utilização de Prefabs diz respeito, principalmente, as interfaces e funções interativas, como menus e objetos responsáveis pela mudança de cena. Estas interações, deverão existir em diversos cenários e, por isso, Prefabs com parâmetros ajustáveis foram criados para serem adaptados às diversas hidrelétricas e, conseqüente, reduzir o tempo de produção.

### **5.2.3.3 DirectX 11 e Tessellation**

A Unity permite a utilização DirectX 11, bem como todos os benefícios oferecidos por essa API gráfica. Um desses recursos é a utilização de Shaders geométricos e de superfície. Esse tipo

de recurso permite que a definição dos níveis de cor apropriados em uma imagem por meio do cálculo de efeitos renderizados com alto grau de flexibilidade. Além disso, por meio do DirectX 11, é possível a criação de Shaders que realizam o processo de Tessellation e, posteriormente, o Displacement. O primeiro processo realiza uma quantidade finita de triangulações para cada polígono que compõe o objeto, enquanto o segundo desloca os vértices criados de acordo com os parâmetros inseridos pelo usuário e pelo mapa de textura utilizado (Unity3d, 2006). Em outras palavras, é possível a criação de objetos dotados de volume por meio do uso de Shaders e mapas.

Neste trabalho, este recurso foi utilizado na criação de objetos simples como britas e blocos de concreto. Assim, é possível a garantir a renderização de um modelo 3D, o qual é gerado em tempo real, a partir do processo de criação de texturas, sem a necessidade de modelagem. A Figura 21 mostra a utilização do DirectX 11 na criação de um módulo utilizado para representar britas e cascalhos presentes nas hidrelétricas.



*Figura 18 - Processo de Geração de Malha 3D Com o DirectX 11*

## 5.3 Elaboração dos Ambientes Virtuais

### 5.3.1 Modelagem e Montagem de Cena Modular

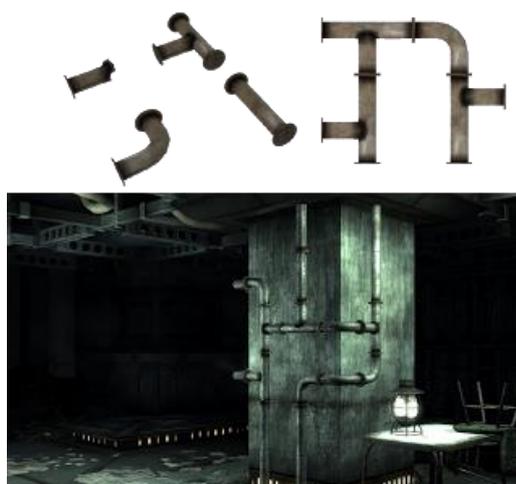
A modularização consiste basicamente na construção de um sistema complexo a partir de modelos menores, chamados módulos, os quais se conectam perfeitamente. Para tanto, é necessária uma modelagem planejada que deve seguir adequações e convenções que

permitam uma conectividade natural quando um modelo está alinhado ao outro. No que se refere as convenções, as texturas devem ser aplicadas de forma a dar continuidade ao modelo seguinte, garantindo assim mais realidade ao modelo, enquanto as medidas devem ser escolhidas de forma a garantir a compatibilidade e possibilidade combinatória entre diversos modelos, já que lacunas entre modelos comprometem a qualidade visual do ambiente (Burgess, 2014).

A abordagem modular para a montagem de ambientes virtuais apresentam vantagens como:

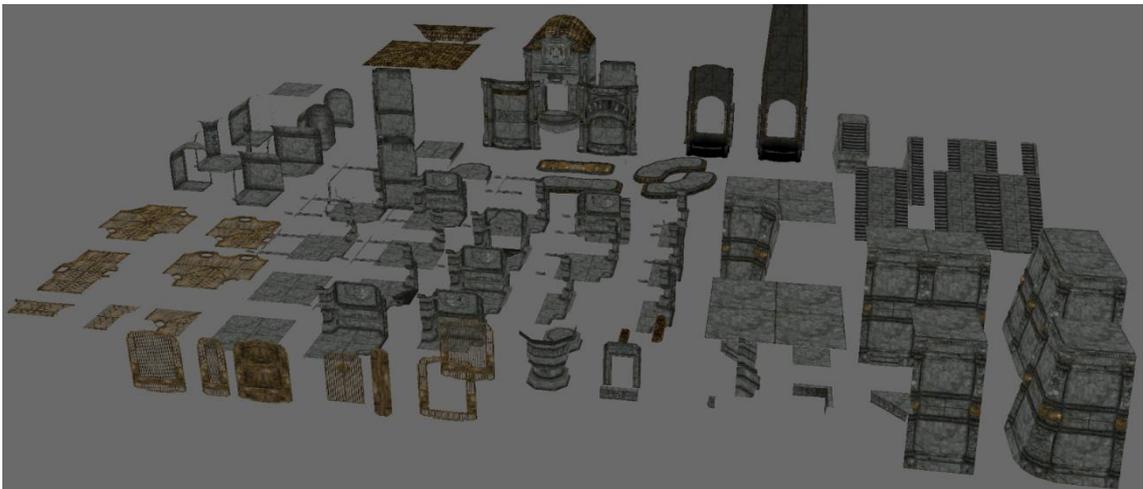
- Reuso de objetos em diversos ambientes
- Dispensa a reelaboração de sistemas semelhantes
- Mais agilidade na montagem do ambiente virtual
- Minimização no custo de modelagem

A abordagem utilizada na proposta de Burgess (2014) é baseada em Kits, os quais constituem sistemas. Cada um destes sistemas possui modelos menores capazes de gerar objetos maiores e mais complexos por meio de combinações. Diversas Engines de jogos possuem fatores funcionais que motivam a utilização de módulos, como Grids de referência com unidades de medidas específicas, o ponto do Pivot que define o centro do objeto e a função Snap que, por sua vez, posiciona objetos mais próximos de acordo com um ponto de referência definido pelo usuário. A Figura 22 apresenta o conceito de um Kit baseado em canos e como podem ser utilizados em uma cena virtual:



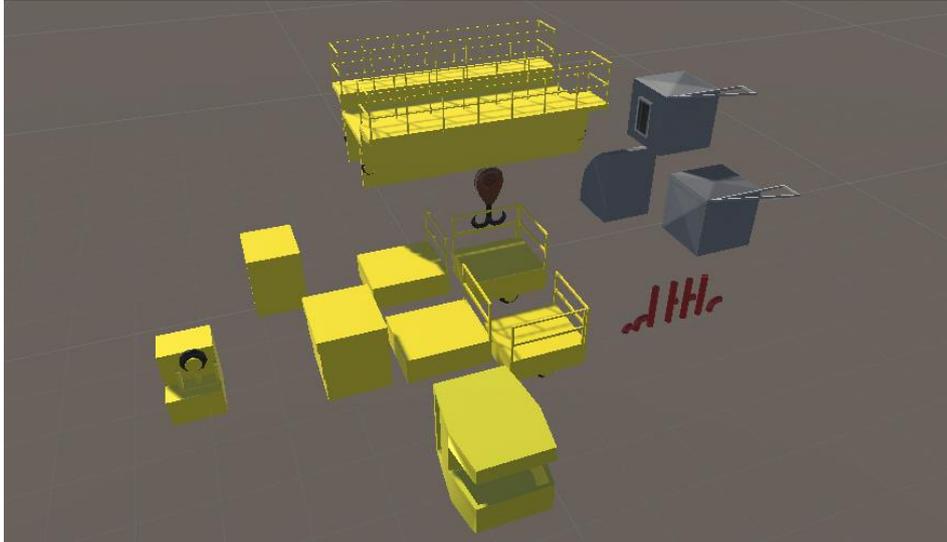
*Figura 19 - Kit Baseado em Canos Utilizado no Software Fallout 3*

É possível observar que um Kit não entrega somente pedaços, mas um sistema que possibilita ao desenvolvedor criar infinitas configurações na disposição dos modelos. Além da agilidade oferecida pela utilização da abordagem, futuras modificações em todo o ambiente não serão onerosas, visto que é possível modificar apenas alguns componentes de um Kit de forma a melhorar ou corrigir o ambiente já construído. Este conjunto de modelos podem compreender sistemas que vão desde componentes comuns, como saídas de ar e tubulação, até toda a configuração arquitetônica de um ambiente, como sugere a Figura 23.



*Figura 20 - Kit Utilizado no Software Skyrim*

Para as hidrelétricas virtuais, diversos módulos foram elaborados baseados na frequência de objetos semelhantes em diferentes cenas. A modularização, nesse contexto, seria possível em qualquer cenário, no entanto, é uma técnica que envolve maior cuidado no processo de modelagem para um melhor aproveitamento do modelo gerado. Assim, quanto mais utilizado o módulo, maior o rendimento da montagem de cena. Nesse contexto, alguns dos módulos mais utilizados foram: saídas de ar, tubulação de refrigeração e guindaste das geradoras (Figura 24).



*Figura 21 - Exemplo de módulos utilizados na proposta.*

Estes são exemplos de objetos que existem em todas as galerias e a aplicação destes modelos na forma de módulos fez desnecessária a reelaboração de objetos muito semelhantes em diferentes ambientes. No entanto, existem outros objetos que foram modularizados, como escadarias e salas inteiras. A partir da utilização deste método na construção de uma pequena sala, ficou evidente a possibilidade da utilização de módulos para a construção de ambientes completos. Assim foi feito com o Pátio de Transformadores, que teve sua estrutura elaborada por meio de módulos reaproveitáveis em outras cenas (Figura 25).

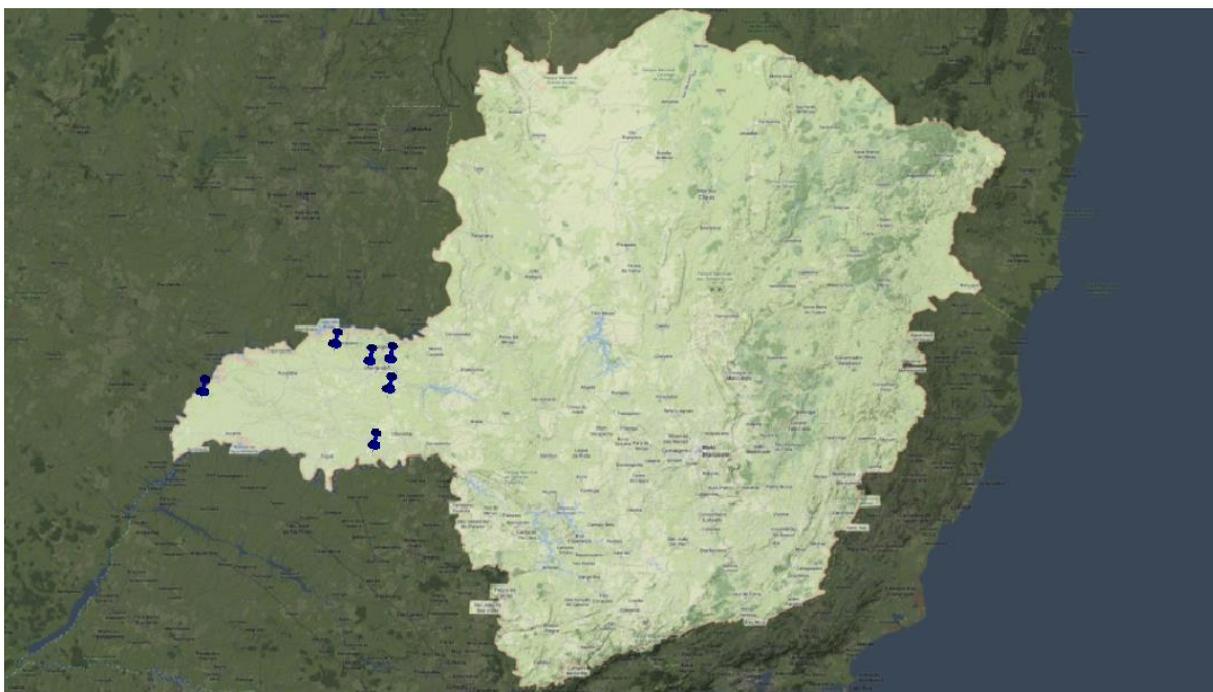


*Figura 22 - Modularização do Pátio de Transformadores da Hidrelétrica de São Simão*

Vale ainda ressaltar que essa técnica foi associada ao Editor Script oferecido pela Engine 3D por meio da criação de uma interface capaz de distribuir modelos construídos modularmente dispensando a necessidade de posicionamento manual, item por item.

### 5.3.2 Cena Mapa

Tendo em vista a proporção do trabalho, uma vez que ele abrange diversas usinas sobre domínio da CEMIG, é importante que o usuário do sistema consiga alternar entre os ambientes de forma eficiente. Para tanto, uma cena que apresenta um mapa que abrange todo o estado de Minas Gerais foi criado. Para cada usina elaborada, um pino tridimensional foi adicionado e posicionado de acordo com a localização geográfica de tal usina. Assim, o usuário poderá navegar entre todas as hidrelétricas abordadas que estão distribuídas em todo o estado. A seleção do ambiente a ser explorado é feita com um simples clique do mouse sobre o pino posicionado em cena (Figura 26). Para auxiliar o usuário, enquanto o cursor do mouse estiver sobre o pino representativo, um texto apresentará o nome da usina selecionada. Dessa forma, o operador terá uma noção da distribuição geográficas dos complexos envolvidos no trabalho e poderá alternar de forma rápida e intuitiva o seu alvo.



*Figura 23 - Cenário Utilizado Para a Seleção da Hidrelétrica.*

### 5.3.3 Cena Topográfica Virtual

Além dos ambientes visitados e fotografados, um ambiente virtual relacionado com uma dada Usina deverá ser uma interface responsável pela seleção do ambiente a ser visitado e prover condições da operação remota. Seus segmentos serão associados com ambientes que contêm informações topográficas do local que compreende a usina hidrelétrica e suas subestações. Para tal, o ambiente também apresenta o conjunto de imagens de satélite da região e miniaturas representativas dos complexos apresentados no ambiente.

Antes da interação com as áreas internas, o usuário é direcionado para um ambiente que apresenta informações topográficas reais do local da instalação alvo. A malha referente ao terreno da instalação é obtida e tem sua textura capturada por meio do software Google Earth. É a partir desta cena que o usuário poderá selecionar algum dos três ambientes concebidos para navegação. Dessa forma, o sistema oferece uma forma de navegação ágil e impossível no mundo real. Ainda, o usuário não estará limitado a este cenário para mudar de ambiente, pois é possível alternar a localização do Avatar por meio do deslocamento dentro do ambiente virtual, que é uma forma de navegação mais lenta, mas permite que o usuário adquira uma melhor noção espacial acerca do ambiente no qual operam.

As coordenadas de todas as hidrelétricas foram obtidas e arquivadas. A localização de do complexo alvo é inserida no software SketchUp que, por sua vez, realiza a exportação da malha tridimensional da região selecionada, bem como a textura que apresenta informações obtidas via satélite em formato compatível com o software de modelagem 3ds Max (Figura 27).

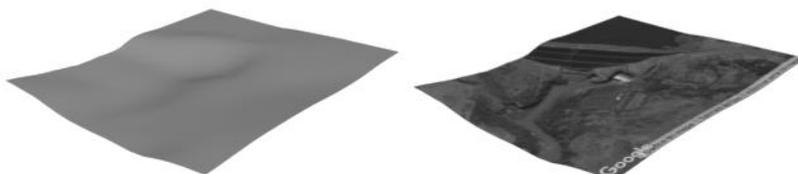


Figura 24 - Malha poligonal e textura referente a região de instalação da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte

Como é possível observar, a malha poligonal capturada apresenta qualidade adequada a proposta, no entanto, a textura apresenta informações desnecessárias e resolução insuficiente para uma visualização de qualidade do modelo representativo. Assim, foi necessária a busca de uma textura em outro software. A fonte escolhida foi o Google Earth Pro, o qual permite a captura de imagens de satélite em alta resolução, apresentando, em alguns casos, a possibilidade de captura de imagens registradas em diferentes datas. Como mencionado anteriormente, este ambiente abriga a interface responsável pela seleção do ambiente a ser explorado. O título destes ambientes será o mesmo em todo complexo reproduzido e, por isso, a utilização de Prefabs será fundamental na redução do tempo de desenvolvimento.

Um Prefab dotado de toda a interface necessária neste ambiente foi elaborado e pode ser reutilizado para cada usina a ser construída tridimensionalmente, demandando apenas ajustes em alguns parâmetros, como a posição da interface, por exemplo. No processo de geração do modelo tridimensional que será inserido na Engine 3D, convenções são seguidas para possibilitar a inserção de elementos automaticamente por meio do recurso Unity Editor Script. Com a correta nomenclatura de diversos objetos, é possível adicionar elementos automaticamente via Unity Editor Script, como o pino que apresenta a interface, as partículas que representam o canal de fuga e toda a água da região, por exemplo. Por fim, miniaturas que representam o complexo hidrelétrico e a subestação mais próxima são adicionadas. O resultado pode ser visualizado na Figura 28.



*Figura 25 - Cena topográfica da usina de Nova Ponte*

### 5.3.4 Galeria Elétrica Virtual

A Galeria Elétrica deve apresentar todos os painéis de proteção associados às geradoras. A quantidade painéis varia entre as diversas hidrelétricas, no entanto, estão sempre dispostos de forma enfileirada, podendo ser divididos em grupos e de acordo com posicionamento. A partir deste padrão identificado, uma interface desenvolvida com o Unity Editor Script agora é utilizada permitindo a geração, dentro da cena modelada, de todo o conjunto de painéis já texturizados e distribuídos de acordo com a distância definida pelo usuário. O conjunto de objetos gerados pela interface elaborada pode ser visualizado na Figura 29. Para tanto, um Prefab composto por um painel tridimensional foi elaborado de modo que pudesse receber uma textura dotada de faces bem definidas, por meio de um processo de modelagem chamado UVW Mapping. Desta maneira, várias texturas, se configuradas da forma correta, podem ser perfeitamente aplicáveis ao mesmo painel. Para que esta etapa de produção funcione, cada textura deverá receber a imagem de um painel em uma área delimitada, criando assim um padrão aplicável em diversos cenários (Figura 30).



Figura 26 - Conjunto de Painéis Elaborado Pela Interface Desenvolvida.

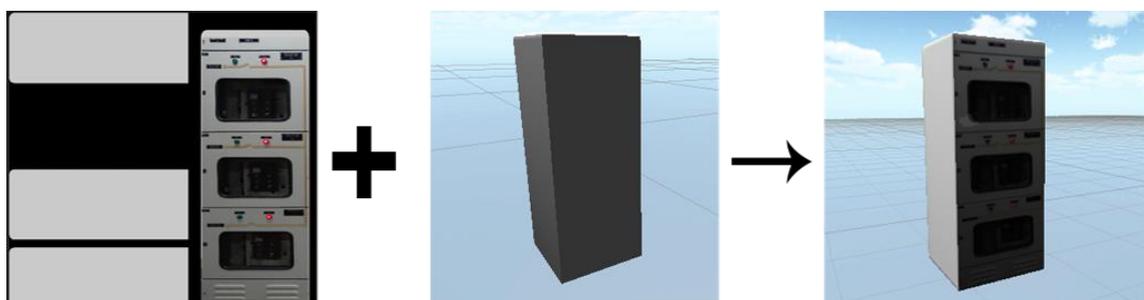


Figura 27 - Textura Preparada Para Aplicação

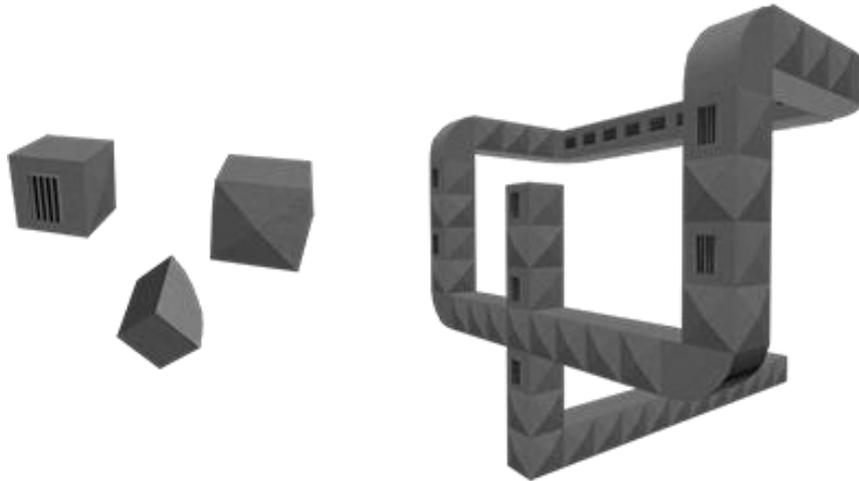
A interface desenvolvida exige somente a inserção de parâmetros para definir a distância entre cada painel, a largura do corredor que separa os painéis e o nome da usina. Todo o conjunto de painéis do ambiente foram subdivididos em conjunto direito e esquerdo. Em resumo, cada lado possui um certo número de grupos que, por sua vez, abrigam uma quantidade específica de painéis. A partir do registro fotográfico, é realizada uma edição onde cada painel é isolado e adequado como uma textura aplicável. O arquivo gerado deverá ter uma resolução específica e ser renomeado de acordo com convenções definidas para que a ferramenta seja capaz de buscar nos diretórios do projeto o conjunto de texturas corretos para aplicação na ordem exata. A Figura 31 apresenta o resultado final de uma Galeria Elétrica com painéis distribuídos por meio da interface desenvolvida.



*Figura 28 - Galeria Elétrica Virtual da Usina Hidrelétrica de Amador Aguiar 2*

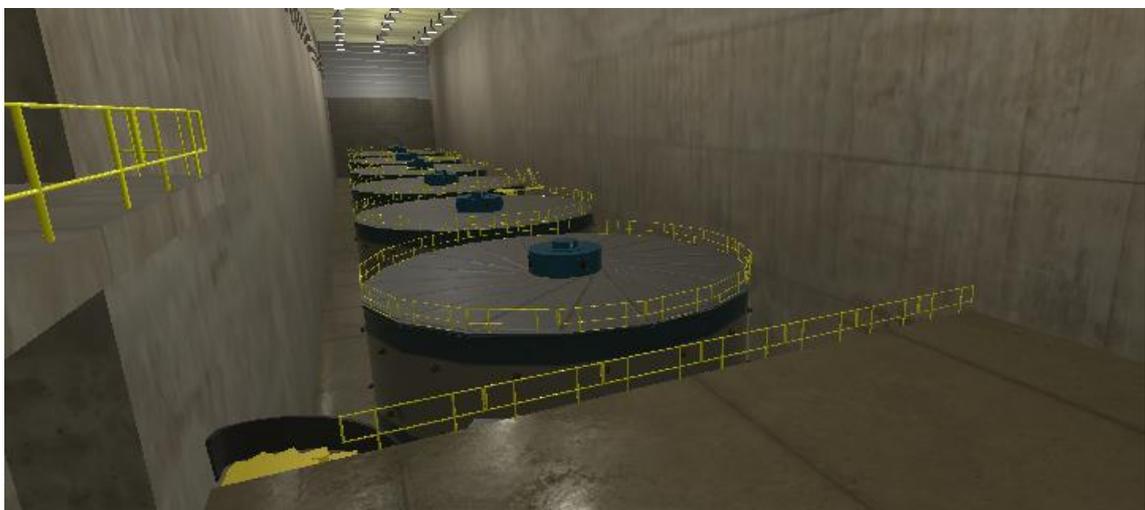
### **5.3.5 Galeria Mecânica Virtual**

Por abrigar as máquinas todas as máquinas geradoras de uma hidrelétrica, a Galeria Mecânica é um dos ambientes mais amplos a serem reproduzidos. Cada uma destas galerias possui uma configuração estrutural distinta e adequada as condições do terreno no qual a geradora está instalada. As máquinas geradoras também apresentarem estruturas bem diferentes entre si, no entanto, este ambiente possui componentes muito semelhantes que podem ser reutilizados. Para que o reuso seja possível, a modularização de componentes frequentes em diversos ambientes foi adotada. Um exemplo de módulo utilizado neste ambiente pode ser visualizado na Figura 32.



*Figura 29 - Modularização dos Dutos de Ar Presentes nas Hidrelétricas*

Módulos se mostraram eficientes principalmente nesta galeria, a qual apresenta uma grande frequência de objetos semelhantes, o que resultou em uma grande diminuição no tempo de desenvolvimento. Por se tratar de um ambiente vasto, é frequente a presença de diferentes pavimentos e o deslocamento pode envolver interações desnecessárias e repetitivas como subir e descer escadarias. No intuito de evitar este tipo de atividade dispensável, um Prefab que realiza o deslocamento rápido do avatar entre os pavimentos foi utilizado. Assim, é possível o reposicionamento rápido sem comprometer a abstração do modelo mental oferecido pela estrutura tridimensional. O resultado final da Galeria Mecânica construída virtualmente pode ser visualizado na Figura 33.



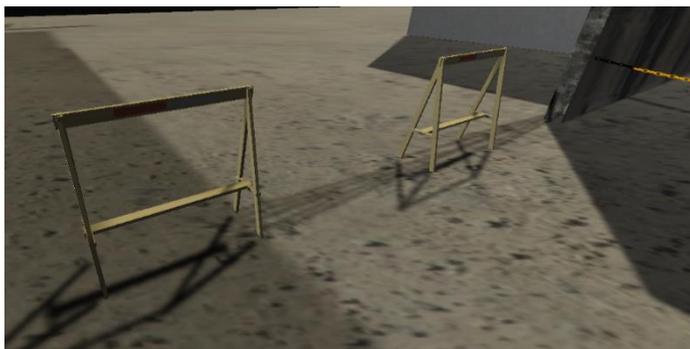
*Figura 30 - Galeria Mecânica Virtual da Usina de São Simão*

### 5.3.6 Pátio de Transformadores Virtual

Por ser um ambiente externo ao complexo hidrelétrico, o Pátio de Transformadores deve apresentar detalhes que não estão presente nas galerias, como vegetação e o céu, por exemplo. O pátio apresenta também parte da estrutura externa da hidrelétrica que também deve ser abordada. No que se refere ao desenvolvimento tridimensional deste ambiente, sistemas contra incêndio estão sempre presentes e foram modularizados de forma a otimizar o desenvolvimento, uma vez que este sistema é composto por canos de configurações diversas e a elaboração de uma estrutura fixa a cada pátio construído significa um retrabalho que pode ser evitado. Outro aspecto interessante da modularização da tubulação é a possibilidade de ajuste dentro da Engine de jogar pois, como se trata de uma modelagem estimada, a necessidade de edição é constante e alterações no modelo 3D dentro do Software de modelagem, demanda a reimportação de todo o modelo para a Engine. Este aspecto evidencia a importância da construção do cenário dentro de uma Engine de jogos e não em um Software de modelagem. Neste sentido, outros objetos puderam ser modularizados e utilizados na construção da cena com sucesso, como rochas, piso e parede.

Em alguns casos, foi necessária a representação da água e do terreno, sendo que a elaboração deste último foi feita de forma estimada. Isso se dá pelo fato que a precisão da malha poligonal, obtida por meio do SketchUp, do terreno não é suficiente para ser utilizada em um ambiente onde um avatar deve se deslocar e a utilização de um terreno com densidade poligonal tão baixa comprometeria a interação com o sistema. Apesar disso, a qualidade da malha com informações topográficas é suficiente para a utilização em um cenário de visão mais abrangente, como é o caso da Cena Topográfica adotada para cada complexo hidrelétrico.

Por se tratar de um ambiente muito amplo, foi necessária a limitação do espaço acessível por meio de objetos que representam obstáculos, como placas e outros equipamentos de proteção coletiva, somados à colisores que impedem a passagem do avatar (Figura 34). Assim, o usuário pode manter o seu foco nos equipamentos importantes que compõe a cena, locais irrelevantes não serão acessíveis e é dispensada a modelagem de elementos que não são interessantes diante a proposta do ambiente.



*Figura 31 - Equipamento de Proteção utilizado como obstáculo*

Os componentes elétricos presentes no pátio, como transformadores e para-raios são conectados entre si. Para a criação dos cabos conectores, é utilizado um Editor Script que gera uma malha poligonal entre dois pontos selecionados. Assim, é possível a construção rápida de todo o cabeamento dentro da própria Engine, independentemente da posição dos pontos origem e destino selecionados. A Figura 35 apresenta um pátio construído com as técnicas mencionadas.



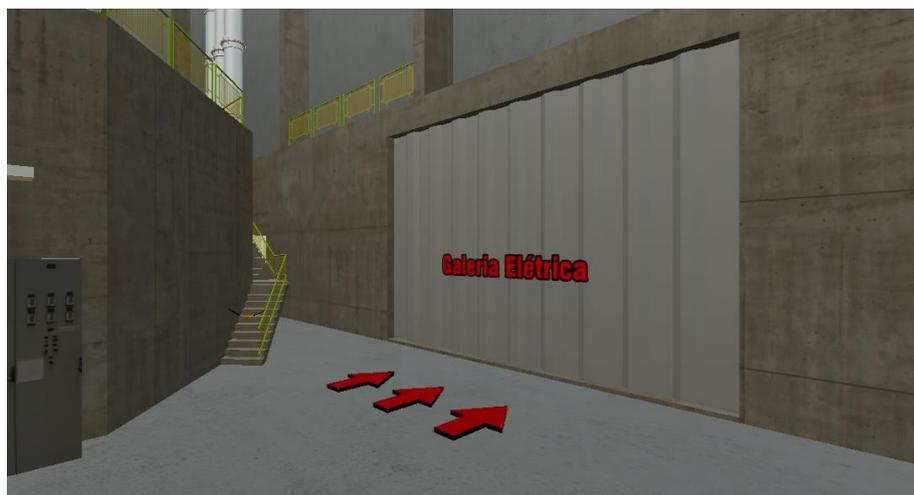
*Figura 32 - Pátio de Transformadores Virtual da Usina de Nova Ponte*

## 5.4 Processo Interativo

A interação é um aspecto fundamental da interface e está relacionada com a detecção de ações do usuário e a modificação de aspectos da aplicação (Cardoso e Lamounier, 2006). Por isso, o sistema apresenta possibilidades de interações rápidas e flexíveis para o usuário. O trabalho representa virtualmente diversas Usinas Hidrelétricas que estão sob supervisão da

concessionária de distribuição de energia elétrica CEMIG. Assim, uma navegação rápida entre os diversos ambientes representados é importante para a proposta. Com dispositivos simples, como mouse e teclado, o usuário é capaz de se comunicar com o sistema. A primeira cena exibe um mapa de todo o estado de Minas Gerais e um pino tridimensional para cada usina construída virtualmente. Cada pino está disposto no mapa de forma equivalente a localização da usina que representa e a seleção é feita por meio do mouse. A próxima cena apresenta informações topográficas da usina selecionada e miniaturas representativas. Neste ambiente, o usuário poderá selecionar qual ambiente interno da usina deseja visitar, por meio da interface. Uma vez que o usuário está interagindo com os ambientes internos da hidrelétrica selecionada, é possível a troca de ambiente por meio do deslocamento do Avatar em cena.

Por se tratar de ambientes amplos, os três ambientes reproduzidas são tratados e carregados de individualmente, ou seja, para se acessar outro ambiente, uma mudança de cena é necessária. Este aspecto, geralmente, é um limitante para uma navegação mais natural, uma vez que a necessidade de acesso a um menu para interação pode comprometer a imersão do usuário. Em resposta, um sistema de mudança de cena foi codificado, no qual o usuário poderá trocar de ambiente posicionando o Avatar em pontos com objetos de colisão específicos, representados por setas e pelo título do ambiente alvo (Figura 36).



*Figura 33 - Ponto de mudança de cena*

Assim, é dispensada a necessidade de interromper a navegação para acessar o menu que alterna o foco da interação. Uma vez que o usuário posiciona o Avatar na região definida, uma transição de cena suave é executada, evitando uma mudança de cena súbita que abala o

envolvimento do usuário. Este sistema de transição é distribuído em cena por meio de um Prefab, que permite o ajuste de parâmetros de acordo com o espaço onde será posicionado. Outro aspecto interessante deste sistema de transição é a noção espacial preservada, pois o ambiente apontado pelo colisor indica uma localização de acordo com a posição ambiente real. Assim, o usuário que desconhece o ambiente físico adquire a percepção de um local que ainda não visitou e o usuário que já está familiarizado com o ambiente é capaz de navegar de forma mais eficiente.

### **5.4.1 Interações Operacionais**

O ambiente que mais compreende, principalmente, componentes que podem ser manipulados e operados é a Galeria Elétrica. Os painéis de proteção presentes neste ambiente descrevem o estado das geradoras e possibilitam a manutenção das mesmas. As informações presentes neste ambiente são gerenciáveis no COS, no entanto, a operação dos painéis de proteção, bem como a visualização de informações, demandam o deslocamento de profissionais até o dispositivo de interesse.

A Galeria Elétrica virtual apresenta, por meio de objetos 3D texturizados, todo o conjunto de painéis presentes no mundo real e, para auxiliar operadores, seja na operação ou no treinamento, neste ambiente é possível a seleção dos painéis para uma visualização mais centralizada e adequada para a identificação. Esta seleção é feita por um raio que tem a origem na câmera, o qual evidencia o painel alvo e, por meio do mouse, a câmera é ajustada no intuito de destacar apenas o equipamento de interesse. Devido a proximidade entre os painéis, ao equipamento selecionado pelo raio é atribuída uma iluminação diferente, por meio de uma troca de materiais. O clique com o botão esquerdo reposiciona a câmera de forma a promover uma melhor forma de visualização, enquanto o clique com o botão direito retorna o usuário para a navegação convencional. Quando o painel é selecionado e a câmera reposicionada, uma interface lateral com diversos campos preparados para receber informações da central de controle é exibido. No que se refere a operação, um conjunto de interfaces preparadas para receber informações sobre o painel selecionado é apresentado. Tal interface deverá apresentar informações em tempo real, assim que for implantada a associação do RV com o Centro de Operação e Controle.

Na Galeria Mecânica, os objetos de interesse são as geradoras e o processo interativo com esses elementos é semelhante ao da Galeria Elétrica. Como os modelos interativos deste ambiente estão dispostos de forma distante, um reposicionamento da câmera não é necessário, sendo que a interface exibida é apresentada na tela independentemente do ângulo adotado pelo operador.

Por fim, aos transformadores e para-raios presentes no Pátio são atribuídas as mesmas funções interativas presentes nos outros ambientes. Os objetos interativos deste espaço também são dispostos de forma bem distribuída e uma mudança no posicionamento da câmera não é necessária. Para os objetos de interesse deste ambiente, interfaces capazes de apresentar informações acerca do equipamento alvo também foram preparadas e são exibidas a partir da interação com os transformadores e para-raios.

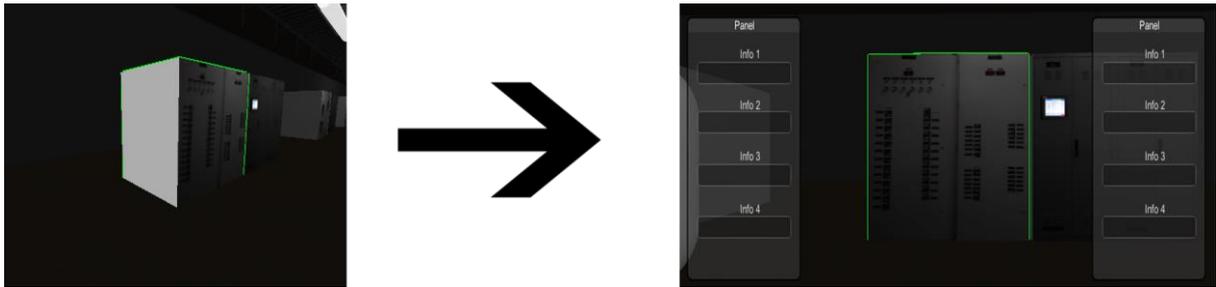
## **5.5 Utilização da Realidade Virtual para a Visualização de Informações em Hidrelétricas**

Além da entrega de ambientes virtuais construídos a partir das hidrelétricas reais, é importante o desenvolvimento de interfaces que permitam a visualização de conteúdo sobre os objetos reproduzidos digitalmente. Este conteúdo que pode ser relevante para o treinamento e operação.

O sistema desenvolvido permite que informações acerca de equipamentos reais possam ser apresentadas por meio de uma associação entre banco de dados reais e os espaços virtuais. Tais informações sobre equipamentos reais são importantes para a operação e seu acesso conveniente por meio de um sistema de RV, capaz de apresentar dados de forma rápida e precisa, pode contribuir com o processo de manutenção das geradoras.

Para fornecer a visualização de informações relevantes para a operação, uma interface foi desenvolvida. Esta interface é apresentada ao usuário quando ocorre uma interação com o equipamento alvo por meio do mouse (Figura 18). Cada ambiente apresenta diferentes objetos interativos selecionáveis e o critério utilizado para a escolha destes equipamentos foi a sua relevância para o processo de operação e por demandarem uma constante supervisão por parte dos funcionários. Na Galeria Elétrica, os objetos interativos são os painéis de proteção. Por estarem dispostos em grande quantidade, aspectos visuais e interativos específicos foram implantados para facilitar a visualização dos equipamentos sem causar

ambiguidade. Neste sentido, o painel alvo tem suas propriedades visuais alteradas no intuito de ser destacado diante os demais. A câmera também é alterada de forma a centralizar o objeto de interesse e o painel passa a se apresentar de forma isolada. A partir uma conexão com a Central que gerencia as hidrelétricas, seria possível a visualização de informações em tempo real acerca do painel alvo de forma conveniente e intuitiva.



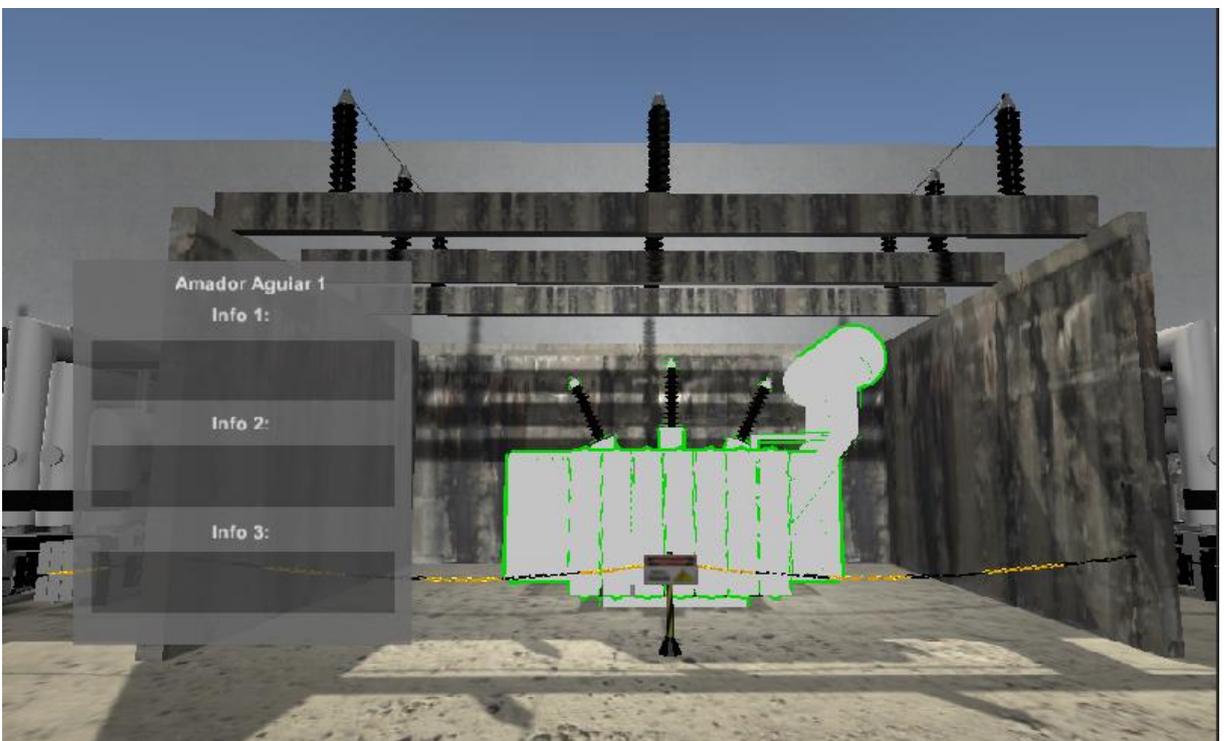
*Figura 34 - Interação com Painéis de Proteção*

Na Galeria Mecânica, as máquinas geradoras são objetos interativos. Os equipamentos de interesse deste ambiente também recebem um destaque quando selecionados, no entanto, dependendo das condições de consumo de energia, nem todas as geradoras se encontram ativas. Assim, além do foco no objeto de interesse, um contorno nas cores verde ou vermelha é exibido para expor, imediatamente, o estado da máquina. Uma interface preparada para apresentar informações resgatadas da Central de Controle e Operação também é exibida. Em contraste com as formas de comunicação convencionais, e como mencionado por Simões (2012), interfaces que utilizam a RV promovem experiências mais intuitivas e eficientes. Neste contexto, em específico, o operador seria capaz de observar o comportamento de uma geradora e identificar rapidamente o equipamento a partir da sua posição no mundo real.



*Figura 35 - Interação com as Máquinas Geradoras*

Por fim, no Pátio de Transformadores, os objetos de interesse são os transformadores e os para-raios, os quais recebem o mesmo destaque quando selecionados, processo que também apresenta o conjunto de interface associada a tal equipamento.



*Figura 36 - Interação com Objetos no Pátio de Transformadores*

## 5.6 Considerações Finais

Este capítulo apresentou as principais tecnologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, bem como as metodologias aplicadas em cada ambiente hidrelétrico representado. Além do aspecto visual, foi abordado todo o processo iterativo que foi concebido. Observa-se que cada ambiente demanda metodologias diferentes aplicadas ao seu respectivo fim.

Observou-se a possibilidade de utilização das mesmas convenções em ambientes diversos, tanto quanto à sua configuração estrutural quanto a sua natureza operacional. Devido a este nível de aplicabilidade descoberto pela metodologia apresentada, comprova-se a viabilidade de utilização de tais métodos em outros trabalhos que envolvam a reprodução de diversos ambientes virtuais presentes em um mesmo contexto.

## Capítulo 6

# Resultados Obtidos – Evolução da Estratégia

### 6.1 Introdução

Este capítulo apresentará uma análise do progresso obtido e da evolução dos ambientes em função das técnicas aplicadas no intuito de otimizar o processo de construção. É abordada a utilização de recursos oferecidos pela Engine e a aplicação de metodologias de modelagem, que ocorreram de acordo com a identificação de padrões durante a construção de cada hidrelétrica. Assim, será possível observar uma redução no tempo de modelagem de cada hidrelétrica no decorrer do desenvolvimento do trabalho. Um total de seis hidrelétricas foram reproduzidas: Nova Ponte, Amador Aguiar 2, Amador Aguiar 1, Miranda, Volta Grande e São Simão, nesta respectiva ordem.

### 6.2 Nova Ponte

A partir da concepção da proposta, a primeira hidrelétrica foi finalizada, com todos os 3 ambientes e a Cena Topográfica, em um total de 97 dias. Os ambientes não foram construídos simultaneamente, mas de acordo com sua complexidade e, como referência, a primeira hidrelétrica utilizada foi a de Nova Ponte. Nenhuma metodologia específica foi adotada nesta construção tridimensional e a partir desta primeira experiência, dificuldades apontaram a necessidade de adequações no desenvolvimento da proposta.

O primeiro impasse identificado foi na construção da Cena Topográfica. Quando um ajuste no modelo 3D é necessário, a reimportação do modelo na Engine é obrigatória. Nesse processo, recursos gráficos como as partículas de água e a textura correta devem ser aplicadas novamente. Para cada uma das Galerias, um tempo de trabalho de aproximadamente um mês

foi necessário, enquanto o Pátio de Transformadores demandou pouco mais de um mês. Neste momento, o processo interativo já estava definido e foi elaborado de forma a ser reaproveitado na próxima hidrelétrica a ser construída

### **6.3 Amador Aguiar 2**

No intuito de solucionar o problema apresentado durante a elaboração da Cena Topográfica da hidrelétrica anterior, adequações de modelagem foram adotadas, como nomenclatura e posicionamento padrão de objetos, o que possibilitou a utilização de em Editor Script capaz de configurar a malha tridimensional automaticamente. Este processo inclui:

- Inserção e posicionamento do objeto que compreende o menu de seleção dos ambientes dentro da usina
- Posicionamento do terreno e câmera na cena.
- Aplicação da textura sobre o terreno
- Configuração da iluminação

A partir das interações concebidas na hidrelétrica anterior, o Prefab de mudança de cena foi finalmente concebido. Assim, com as melhorias no processo de produção da Cena Topográfica e na integração das cenas, a hidrelétrica virtual foi concluída em um total de 78 dias.

### **6.4 Amagor Aguiar 1**

Todas as melhorias implementadas na reprodução das hidrelétricas anteriores foram introduzidas na construção virtual da usina de Amador Aguiar 1. No entanto, foi identificada a possibilidade de otimização na construção da Galeria Elétrica. A partir do padrão de disposição dos painéis presentes nesta Galeria, o Editor Script foi novamente utilizado, desta vez para a criação da Interface de Geração de Painéis. Para que este recurso funcione, é imprescindível manter o padrão na construção da textura e a correta estruturação dos diretório do projeto, aspecto fundamental para um melhor fluxo de trabalho.

A Interface de Geração de Painéis oferece um rápido processo de distribuição dos modelos representativos dos painéis de proteção e reduziu o tempo de produção deste ambiente, uma vez que a primeira Galeria Elétrica demandou um total de 21 dias para ser concluída, enquanto esta última apenas 7. Por fim, foi realizada uma melhoria no Editor Script que realiza a configuração da malha topográfica, adicionado as seguintes funções: aplicação do shader de água sobre a malha correta e o posicionamento das partículas que simulam a água eliminada pelo canal de fuga. Com as melhorias mencionadas, esta hidrelétrica virtual foi concluída em um total de 45 dias.

## **6.5 Miranda**

Durante a montagem da cena virtual da usina hidrelétrica de Miranda foram introduzidos objetos 3D construídos modularmente. Um grande retrabalho com a modelagem de objetos semelhantes foi identificado durante o desenvolvimento das hidrelétricas anteriores. Com a análise dos registros na forma de fotos e vídeos já obtidos, foi possível apontar a grande frequência de objetos específicos e a definição do processo de modularização dos modelos que compõem a cena virtual.

Foi constatada uma otimização, principalmente na Galeria Mecânica, em um contexto no qual a utilização de objetos modulares reduziram o tempo investido nesse ambiente e o conjunto tridimensional referente a hidrelétrica foi concluído em um total de 33 dias. É importante ressaltar que durante o desenvolvimento, o processo de modelagem se tornou menos oneroso e proporcional a maturidade da proposta, ou seja, o tempo necessário para a elaboração tridimensional dos objetos foi reduzido e foi possível um investimento em outros aspectos importantes para o projeto, como os scripts que auxiliam na montagem dos ambientes. A utilização de metodologias específicas, tanto na modelagem quanto na montagem de cena, causaram um impacto significativo, no entanto pequenas mudanças no processo de construção também contribuíram para a conclusão dos ambientes virtuais. Estas mudanças estão relacionadas à maturidade do projeto e a melhorias no processo de produção, uma vez que, com a prática na construção das hidrelétricas virtuais, os envolvidos eram capazes de entregar um conjunto de objetos empregando menor tempo na modelagem.

## 6.6 Volta Grande

O processo de construção da Hidrelétrica virtual de Volta Grande incorporou todas as soluções utilizadas anteriormente. A grande melhoria identificada durante a reprodução desta geradora foi identificada na Galeria Elétrica. Assim como a Galeria Mecânica apresentava uma grande quantidade de objetos semelhantes, a Galeria Elétrica também era composta por objetos frequentes, mas em menor quantidade. Observou-se também a possibilidade de utilização de módulos voltados para a estrutura do ambiente, uma vez que algumas galerias apresentam pequenas salas que podem ser abordadas como módulos, dispensando a necessidade de configurar toda a estrutura do ambiente em função destes pequenos cômodos, os quais podem ser posicionados de acordo com a necessidade do usuário quando elaborados em forma de módulos.

De maneira geral, o fluxo de trabalho se manteve o mesmo para todos os espaços tridimensionais, com exceção da Galeria Elétrica, para a qual elementos modulares foram adotados. Um total de 28 dias foram necessários para a conclusão desta hidrelétrica.

## 6.7 São Simão

A geradora de São Simão é considerada o maior complexo hidrelétrico de todo o estado de Minas Gerais. No entanto, as técnicas de modelagem aplicadas no decorrer do trabalho se provaram eficientes ao ponto de proporcionar um melhor fluxo de trabalho apesar do tamanho do ambiente a ser modelado. Foi possível comprovar que com técnicas adequadas aos ambientes, como a modularização e os scripts auxiliares, as dimensões do modelo a ser construído deixam de causar um impacto que prejudica o processo de produção.

Neste modelo, foi observada a possibilidade da reprodução de todo o Pátio de Transformadores de forma modular. Notou-se uma queda no tempo necessário para o desenvolvimento deste ambiente, sendo que a hidrelétrica foi concluída em um total de 24 dias.

## 6.8 Considerações Finais

Este capítulo sintetizou o progresso e a evolução da proposta a medida que era realizada a aplicação de técnicas específicas de modelagem e montagem de cena. Foi possível observar uma grande evolução no processo de produção, principalmente no que se refere ao tempo empregado na construção de cada ambiente. A Tabela 2 apresenta um histórico, que abrange todo o avanço do trabalho, em dias que vão desde a concepção da proposta até a finalização da sexta hidrelétrica reproduzida virtualmente. A Tabela 2 também expõe o momento da aplicação de cada uma das técnicas e os recursos utilizados no intuito de otimizar a produção, técnicas que são: Prefabs, Unity Editor Script e Modulação. Assim, foi possível mensurar o impacto de cada recurso associado a cada processo de elaboração.

Usina	Ambiente	Prefabs?	Unity Editor?	Modulação?	Produção (Dias)
Nova Ponte	Menu e Mapa				20
	Galeria Elétrica				21
	Galeria Mecânica				28
	Pátio				33
	Integração de Cenas				21
Amador Aguiar 2	Menu e Mapa		X		14
	Galeria Elétrica				21
	Galeria Mecânica				13
	Pátio				22
	Integração de Cenas	X			8
Amador Aguiar 1	Menu e Mapa		X		4
	Galeria Elétrica		X		7
	Galeria Mecânica				13
	Pátio				14
	Integração de Cenas	X			7
Miranda	Menu e Mapa	X	X		2
	Galeria Elétrica		X		7
	Galeria Mecânica			X	7
	Pátio				14
	Integração de Cenas	X			3
Volta Grande	Menu e Mapa	X	X		2
	Galeria Elétrica		X	X	4
	Galeria Mecânica			X	5
	Pátio				14
	Integração de Cenas	X			3
São Simão	Menu e Mapa	X	X		2
	Galeria Elétrica		X	X	5
	Galeria Mecânica			X	6
	Pátio			X	8
	Integração de Cenas	X			3

Tabela 6 - Tabela Comparativa do Tempo de Desenvolvimento em Relação a Metodologia Utilizada.

Apesar da metodologia adotada promover a construção de sistemas de objetos mais complexos a partir de modelos mais simples, foi possível comprovar que a qualidade gráfica dos elementos resultantes deste tipo de modelagem apresentaram qualidade gráfica idêntica à objetos elaborados de forma convencional. Quanto as condições de modelagem para a

avaliação do tempo economizado, a quantidade de modeladores foi a mesma durante a construção das seis hidrelétricas virtuais, enquanto um desenvolvedor foi o responsável pela construção de todos os ambientes a partir dos modelos entregues. Observou-se uma diferença quanto as dimensões entre os ambientes modelados. No entanto, o aspecto mais impactante para o processo de produção foi a quantidade e a complexidade de modelos presentes em cada ambiente.

# Capítulo 7

## Conclusões e Trabalhos Futuros

### 7.1 Introdução

Este capítulo destaca as conclusões alcançadas por meio desta dissertação e a contribuição da proposta para o cenário científico. Os principais resultados obtidos no capítulo anterior serão apresentados aqui, assim como sugestões para melhorias e trabalhos futuros.

### 7.2 Conclusões

Diante da relevância de aplicações que fazem uso da Realidade Virtual, seja para visualização da informação, operação ou treinamento no cenário científico, a elaboração dos ambientes virtuais compreende uma das etapas mais onerosas e importantes do processo de produção. Assim, este trabalho buscou minimizar este ciclo e apresentou resultados satisfatórios que poderão ser utilizados em outras soluções da mesma natureza.

Estratégias foram utilizadas no decorrer do trabalho, tornando quantificável a repercussão do uso de métodos e recursos oferecidos pelos Software utilizados na proposta. É identificável uma redução significativa no ciclo de modelagem e montagem de cena em função do tempo, uma vez que as táticas de reuso empregadas prometem uma melhor produção diante um escopo dotado de uma quantidade diversa de ambientes virtuais.

A modularização mostrou-se eficiente a partir do momento que foi introduzida. No entanto, seu benefício máximo foi observável somente no decorrer do desenvolvimento de novos ambientes. Neste sentido, a medida que novos ambientes precisavam ser reproduzidos, ficava cada vez mais evidente a importância da reutilização de modelos semelhantes por meio da combinação de objetos modulares. Quanto aos resultados obtidos por meio desta técnica,

para cada hidrelétrica virtualizada, observava-se uma redução no tempo necessário para conclusão da cena, uma vez que a elaboração de uma nova galeria evidenciava a frequência de objetos e a necessidade de elaboração de módulos que, por sua vez, seriam cada vez mais utilizados nas cenas seguintes.

A Unity3D, Engine gráfica utilizada neste trabalho se mostrou adequada, tanto no desempenho para execução em tempo real quanto na qualidade gráfica. Durante o desenvolvimento, foi disponibilizada uma versão atualizada da Engine, o que demandou a migração de todo o projeto. Apesar da necessidade de reimportação de diversos componentes e adequações nos Scripts, o tempo investido foi compensado devido aos novos recursos gráficos que a nova versão da Engine ofereceu, o que contribuiu para a qualidade final das cenas construídas.

A análise da evolução da estratégia confirmou a importância da combinação dos recursos oferecidos pelos Softwares utilizados para o desenvolvimento da proposta. Observou-se também o resultado positivo da realização de adequações e o desenvolvimento de técnicas voltadas para a Engine, uma vez que é neste software que todo o processo interativo e a concepção final dos ambientes é entregue.

Quanto maior a quantidade e as dimensões dos ambientes a serem elaborados, maior será o rendimento da abordagem escolhida, que apresentou notável compatibilidade com o trabalho aqui desenvolvido. Dada a otimização alcançada, o potencial da combinação das técnicas e recursos apresentada estende-se para diversos trabalhos de natureza semelhante.

Durante as visitas promovidas para a aquisição de insumos, os ambientes virtuais eram apresentados aos operadores, os quais demonstraram entusiasmo com a proposta. Além disso, os operadores que já haviam visitado algumas das hidrelétricas utilizadas como base para a elaboração do ambiente virtual, reconheceram qual instalação estava sendo abordada pelo RV rapidamente.

Para concluir, Figura 37 apresenta um gráfico que sintetiza todo o resultado obtido neste trabalho. É possível visualizar a redução do tempo investido para a conclusão de cada uma das etapas necessárias para a entrega de uma hidrelétrica virtual.

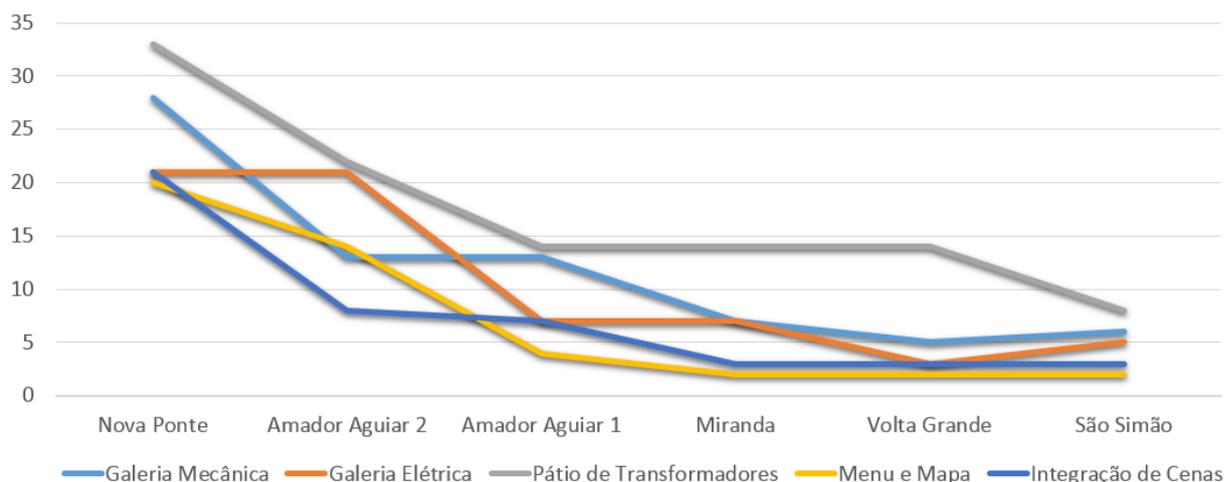


Figura 37 - Conclusão das Hidrelétricas Virtuais em Dias de Trabalho

### 7.3 Trabalhos Futuros

Com os resultados obtidos, é possível observar os ambientes que mais evoluíram quanto ao seu processo de elaboração. De forma geral, a busca por novas metodologias para otimizar ainda mais a elaboração tridimensional dos ambientes representa um dos trabalhos futuros a proposta aqui desenvolvida.

Por meio das soluções alcançadas, considera-se a futura comunicação do sistema RV com a Central de Operação e Controle da CEMIG, uma das principais concessionárias de energia elétrica do Brasil, a qual ofereceu seu espaço para a aquisição de insumos de modelagem e reprodução virtual dos espaços visitados. Posterior a essa etapa, é avaliada a utilização do sistema para operação e treinamento na Central de Operação e Controle da companhia energética.

A partir da implantação do sistema nas hidrelétricas, será importante a avaliação da usabilidade e o ganho operacional obtido por meio da ferramenta desenvolvida para que seja possível a confirmação dos benefícios da utilização da Realidade Virtual para a operação de sistemas elétricos de potência.

A utilização do DirectX 11 para o deslocamento da malha a partir de um mapa, apesar de dispensar a construção de pequenos componentes e reduzir o tempo de modelagem, não foi uma tecnologia que teve seu impacto quantificado neste trabalho por ter sido utilizada apenas para detalhes de objetos em cena. Assim, fica a possibilidade de ampliar a utilização

desse recurso e avaliar os ganhos no desempenho e a redução no tempo de entrega do ambiente virtual.

## Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Aspectos Institucionais. Banco de Informações de Geração – BIG.** 2003. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/aspectos\\_institucionais/2\\_2.htm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/aspectos_institucionais/2_2.htm)>. Acesso em: 21/01/2016.

Autodesk. **3DS MAX - Overview.** Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br/products/3ds-max/overview>> Acesso em: 28 fev. 2016.

BOWMAN, D.; KRUIJFF, E.; LaVIOLA, J.; POUPYREV, I. **3D User Interfaces – Theory and Practice.** Addison Wesley; 2011.

BREEN, Paul T; SCOTT, Walter G. **Virtual Reality Applications in T&D Engineering.** Rural Electric Power Conference. IEEE: Nashville 1995.

BURDEA, Grigore C. COIFFET, Philippe. **Virtual Reality Technology.** 2. ed. 2003.

BURGESS, Joel. **The Iterative Level Design Process Used to Ship Fallout 3 and Skyrim.** In: Game Developers Conference. 28. San Francisco, 2014.

Byrne, C. M. **Water on Tap: The use of virtual reality as an educational tool.** Tese de PHD, Universidade de Washington. Departamento de Engenharia Industrial, 1996.

BARRETO, Camilo de Lellis; CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard. **Uma Estratégia Otimizar a Geração de Arranjos em Subestações Virtuais de Energia Elétrica.** 2016. 115f. Dissertação – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2016.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER, Edgard; LIMA, Gerson et. al. **VRCEMIG: A Virtual Reality System for Real Time Control of Electric Substations.** IEEE Virtual Reality (VR). Lake Buena Vista, FL: 2013.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. A Realidade Virtual na Educação e Treinamento. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada.** Belém: SBC, 2006. P. 304-312.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E; KIRNER, C; KELNER, J. **Tecnologias e Ferramentas para o Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada.** Recife: Editora Universitária UFPE, 2007.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER, Edgard. Aplicações na Educação e Treinamento. In: SISCOOTTO, Robson; COSTA, Rosa. **Realidade Virtual e Aumentada: Uma Abordagem Tecnológica.** João Pessoa: SBC, 2008. P. 343-357.

CARVALHO, Alexandre et. al. **A Methodology for Reducing the Time Necessary to Generate Virtual Electric Substations**. IEEE Virtual Reality (VR). Greenville, 2016.

CHEN, Chaomei. **Information Visualisation and Virtual Environments**. 2. ed. Filadélfia: Springer Science & BusineSS Media, 2013. 223p.

Dede, C.; Salzman, M.C. ;Loftin, R.B. **ScienceSpace: Virtual Realities for Learning Complex and Abstract Scientific Concepts**. In: Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium. 1996.

DOI, A.; OSHIDA, K.; SAKAKIBARA, K. et al. **3D topographic map generation of Fukushima Daiichi Power plant: Visualization of the reconstruction plan for effective information sharing**. In: IEEE International Symposium on Independent Computing (ISIC). Orlando, 2014.

GOOGLE. **Google Earth: Tenha as informações geográficas do mundo na ponta dos dedos**. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>> Acesso em: 14 jan. 2016.

GOTO, A.; INOUE, Ryuji; YOSHIKAWA, Hidekazu. **A Research On Tele-operation Using Virtual Reality**. In: IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 4., 1995, Tokyo.

GUO, Jiang. **Virtual environment conception for CBM of hydro-electric generating units**. Fac. of Hydropower & Digitalization Eng. Wuhan, China, 2002.

GUO, Jiang. **Virtual Environment Conception for CBM of Hydro-electric Generating Units**. In: International Conference on Power System Technology, 2002. vol. 3. IEEE: 2002.

GREENPEACE, Brasil. **Tem uma usina logo ali**. 2011. Disponível em <<http://www.greenpeace.org/>>. Acesso em: 03 jan. 2016.

HONGTAO, Zeng. **A Remote Training System of Hydropower Plant**. In: International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE). IEEE: Wuhan, 2010.

HONGTAO, Zeng. **A Remote Training System of Hydropower Plant Based on Interactive Virtual Environments**. Sch. of Power & Mech. Eng. Wuhan, China, 2010.

RIVERA, A. A. **Using virtual worlds to explore electric power grids and plants**. IEEE. Dept. of Electr. & Comput. Eng., Puerto Rico, 1999

KIRNER, C. and KIRNER, T. **Evolução e Tendência da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada**. Uberlândia-MG: XII Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2011.

KIRNER, C.; SICOUTO, R. **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. Rio de Janeiro: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007. 292p.

LI XIAO, Guo; HONG, Liu. **Application of the virtual reality technologies in power systems**. In: International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC). 2. vol. 3. IEEE: Wuha. 2010.

LIANG, Xin. **High Efficiency Skill Training of Lathe Boring Operations by a Virtual Reality Environment**. In: Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium. 2012.

LIN, Chung-Yi; SHIH, Sheng Wen; HUNG, Yi-Ping. **Toward automatic reconstruction of 3D environment with an active binocular head**. In: International Conference on Pattern Recognition. 14. Brisbane: 1998.

MATOSSIAN, Michele. **3DS Max 8 Visual Handbook**. Ed. 1. PEACHPIT: 2006.

MIRANDA, Marcos Baeta. **Virtual Reality in the Operation and Protection relay in Substations**. In: IET International Conference on Advances in Power System Control. 10., 2010, Manchester.

PHILIPS, Lane et. al. **Distance Perception in NPR Immersive Virtual Environments**. Louisiana, 2009.

SCOTT, W. G. **Virtual reality applications in T&D engineering**. IEEE. Nashville, TN, 1995

SERRA, Roberta. Panography - **Scooter Attack Store & Showroom: QuickTime VR 360° Panorama**. 2008. Disponível em <<http://www.robertserra.com/>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

SIMÕES, Francisco. **Challenges in 3D Reconstruction from Images for Difficult Large-Scale Objects: A Study on the Modeling of Electrical Substations**. In Symposium on Virtual and Augmented Reality. 14, 2012, Rio de Janeiro.

SketchUp. **The easiest way to draw in 3D**. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/>>. Acesso em: 28 fev. 2016.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio. Fundamentos de Realidade Virtual. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC, 2006. P. 304-312.

Unity3d. **Game Engine, tools and multiplatform**. Disponível em: <<http://unity3d.com/unity>> Acesso em: 28 fev. 2016.

WANG, Wenju; LI, Guangyao. **Virtual reality in the substation training simulator**. In: International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD). 14. IEEE: Shanghai, 2010.

WINN, W. **A conceptual basis for educational applications of virtual reality**. Seattle, Washington: Human Interface Technology Laboratory, Universidade de Washington. 1993.

Disponível em: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-93-9/>> Acesso em: 02 mar. 2016.

ZHAO, Qiping. **10 scientific Problems in Virtual Reality**. Communications of the ACM, vol. 54, 2, pag 116-118. Fevereiro, Nova York: 2011