

# Instrução Técnica Virtual - Válvula Detectora de Pressão

{A.P. Junior<sup>1</sup>, M. R. Filho<sup>2</sup>, D. C. Pinheiro<sup>3</sup>, P. N. A. Barata<sup>4</sup>}, UFPA, {F. N. Silva<sup>5</sup>, P.I.C. Moreira<sup>6</sup>} Eletronorte

*Abstract – This paper presents, through a case study of build an technical maintenance instruction in a virtual environment, a computer program called authoring system for Virtual Technical Instructions or ITV. The aim of this program is to allow technicians of a hydroelectric plant, without computer knowledge, develop technical instructions for operation or maintenance in a virtual environment, for later use in training. The construction process of these instructions uses photorealistic 3D models of mechanical parts and, instructions designed, allows interaction of the technicians in order to assemble and disassemble the equipment (in the maintenance instructions), or actuate the keys and commands (in the case of operating instructions), using one of the foundations of virtual reality, the interaction. Until the completion of this work have already been built 8 ITVs being tested at the plant of Tucuruí Hydroelectric by Eletronorte's technician. At the end of the paper are presented the results of the system use evaluation by technicians of the plant.*

**Keywords:** Virtual Reality, Training, Electric Energy Generation.

**Resumo –** Este artigo apresenta, através do estudo de caso da construção de uma instrução técnica de manutenção em um ambiente virtual, um programa computacional chamado sistema de autoria de Instruções Técnicas Virtuais ou ITV. O objetivo deste programa é permitir que técnicos de uma Usina Hidrelétrica, sem conhecimentos de computação, desenvolvam instruções técnicas de Operação ou Manutenção em um ambiente virtual, para uso posterior em treinamentos. O processo de construção dessas instruções utiliza modelos 3D fotorrealísticos de peças mecânicas e, as instruções criadas, permitem a interação dos técnicos de modo a montar e desmontar os equipamentos (nas instruções de manutenção), ou acionar as chaves e os comandos (no caso das instruções de operação), usando um dos fundamentos da realidade virtual, a interação. Até a conclusão deste trabalho, já foram construídas 8 ITVs que estão sendo testadas na usina hidrelétrica de Tucuruí por técnicos da Eletronorte. Ao final do artigo são apresentados os resultados da avaliação do uso do sistema pelos técnicos da usina.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual, Treinamento, Geração de Energia Elétrica.

## I. Introdução

A Manutenção de Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) [1] impacta diretamente na qualidade da geração de energia e no nível de risco operacional da usina. Tais manutenções seguem normas e procedimentos que estão descritos em documentos chamados de Instruções Técnicas (IT). Estas instruções podem ser de Manutenção (ITM) ou de operação (ITO). As ITMs consistem de roteiros dos procedimentos de manutenção a serem executados, apoiados por esquemas em duas dimensões indicando os locais onde será realizada a manutenção e as peças que sofrerão esta manutenção [2].

Nas referências [2] e [3] é apresentado o sistema de autoria de procedimentos de manutenção e operação de uma UHE utilizando técnicas de Realidade Virtual Desktop para treinamento, que atende aos principais requisitos de treinamento virtual propostos nas referências [5] [6] [7].

A referência [2] apresenta a ITV, que é um sistema chamado de Sistema de Autoria de instruções técnicas virtuais, que permite a um técnico de manutenção ou operação de uma UHE montar uma instrução técnica em um ambiente virtual. As ITVs usam modelos 3D da construção civil das usinas, assim como dos equipamentos (turbinas, geradores e auxiliares), para treinar os técnicos nos processos de manutenção e operação. Até a presente data já foram construídas 8 ITVs todas de sistemas da UHE de Tucuruí. Essas ITVs estão em fase de implantação na usina e já foram testadas por técnicos da Eletronorte. Este artigo apresenta informações sobre a construção da ITV da válvula detectora do sistema regulador de velocidade à partir de sua ITM.

A seção II apresenta a Válvula Detectora, a seção III apresenta informações sobre a construção da ITV, a seção IV apresenta a avaliação do sistema e a seção V as conclusões.

## II. Válvula Detectora

A válvula detectora de pressão do sistema de regulação, é a válvula responsável pelo controle do óleo de regulação que faz a abertura do distribuidor da unidade geradora. Sua visão interna aparece na Fig. 1. A válvula é composta pela tampa, o corpo da válvula, as molas, o parafuso de ajuste das molas, o disco de apoio e a porca de travamento da regulação das molas.

O sistema ITV de que trata este artigo, permite a construção de Instruções Técnicas utilizando Realidade Virtual Desktop e foi financiado através do programa de incentivo à pesquisa e inovação das Centrais Elétricas do Norte, Eletronorte.

<sup>1</sup> Alcides Pamplona Jr apamplonajr@gmail.com <sup>2</sup> Manoel Ribeiro Filho manoirib@gmail.com <sup>3</sup> Diego Carneiro Pinheiro dieguinho01cp@gmail.com <sup>4</sup> Peberli Nills Alho Barata peberli@gmail.com} Universidade Federal do Pará, 66075110, Brasil

<sup>5</sup> Fábio do Nascimento Silva fabio.silva@eletronorte.gov.br, Eletronorte, Brasil

<sup>6</sup> Pedro Igor Carvalho Moreira pedroigorcm@gmail.com, Eletronorte, Brasil



Fig. 1. Visão do interior da válvula detectora

### III. Construção da ITV da Válvula Detectora

O sistema ITV permite a criação de Instruções Técnicas com qualidade de imagem fotorrealísticas com o objetivo de melhorar a absorção de conhecimentos e facilitar o treinamento de mantenedores e operadores de uma UHE.

A ITV da Válvula Detectora, inicia pelo carregamento no sistema de todas as peças que a compõem, bem como do local onde ela se encontra na planta da UHE, ou seja, o Regulador de Velocidade. Além disso, as fundações de concreto e outras partes de interesse da manutenção também são carregadas. O resultado pode ser visualizado na Fig. 2 que mostra uma visão da válvula detectora sobre o regulador de velocidade.



Fig. 2. Imagem virtual da válvula detectora montada sobre o regulador de velocidade

Uma vez carregadas todas as partes necessárias para a manutenção, o passo seguinte é, seguindo os passos descritos na Instrução Técnica, iniciar a construção das pré-condições (ou condições iniciais), que são as condições em que a máquina deve se encontrar para que a manutenção possa ser realizada com segurança.

Toda ITV é dividida em uma seqüência de passos e cada passo representa uma etapa no procedimento de manutenção e pode durar um tempo arbitrário. A junção de todos os passos executados em seqüência resulta na ITV. Por exemplo, a Fig. 3 mostra a imagem de um passo contendo uma das pré-condições para a manutenção da válvula detectora.

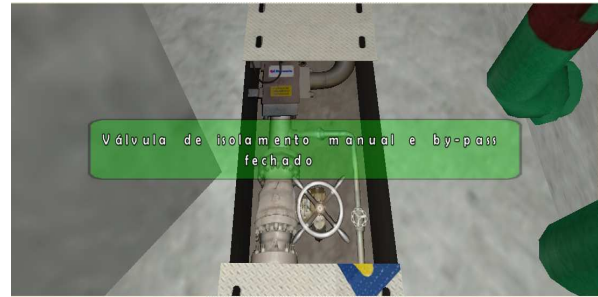


Fig. 3. Exemplo do início de um passo na etapa das Pré-Condições da manutenção da válvula detectora

Nesta figura, o foco é em uma ação de interesse na pré-condição que é o fechamento da válvula manual e *by-pass*. Que aparece descrito em um *pop-up* no centro da tela na cor verde.

Ao terminar todos os passos da fase de pré-condições, passa-se à etapa de desmontagem da peça alvo da manutenção. Também seguindo os passos descritos na Instrução Técnica, inicia-se do primeiro procedimento necessário. No caso da manutenção da válvula detectora, o primeiro passo é a desconexão da válvula, mostrada na Fig. 4.



Fig. 4. Desconexão das tubulações da válvula

Depois da desconexão, a válvula é levada a uma bancada onde será feita sua desmontagem, a Fig. 5 mostra a válvula sobre a bancada, tendo como passo da manutenção, a retirada da tensão nas molas, o que é feito pelo usuário com uma chave, que aparece no lado direito da figura.

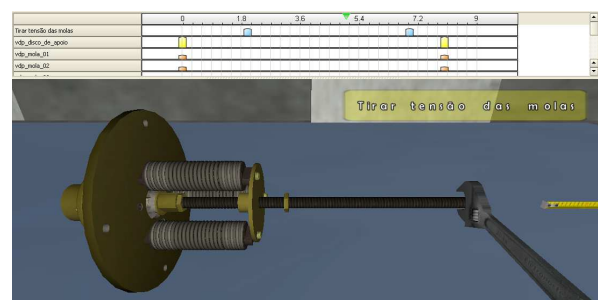


Fig. 5. Passo da desmontagem, retirando a tensão das molas

Cada um destes passos é criado para que posteriormente os mantenedores os executem interagindo com o meio virtual através do mouse.

Na parte superior das Figuras 4 e 5 é possível ver linhas contendo pequenos marcadores. Estes marcadores indicam as

transformações que ocorrerão sobre as peças neste passo e a duração de cada uma delas. Cada tipo de marcador tem uma cor própria para diferenciá-los. Os marcadores ocorrem em par, o primeiro indica o instante inicial em que ocorrerá a animação, uma rotação por exemplo, e o segundo o instante em que ela se encerra.

Uma vez construído cada passo da seqüência de desmontagem, passa-se para a seqüência de montagem que, normalmente, é feita no sentido inverso da desmontagem. Para simplificar essa etapa, o sistema ITV conta com funcionalidades como, cópia de passo e inversão de passo, que permitem duplicar passos criados na desmontagem e inverter sua execução, criando assim um novo passo na fase de montagem. A Fig. 6 mostra um passo da montagem que é o inverso de um passo da desmontagem.



Fig. 6. Retornando com a válvula detectora para a base no regulador de velocidade

A última etapa na construção de uma ITV é o retorno das pré-condições estabelecidas na máquina para a normalidade, permitindo que a válvula detectora possa ser reativada. A Fig. 7 mostra um mantenedor normalizando o funcionamento da válvula *by-pass* (esse mesmo passo foi realizado durante as pré-condições, neste caso, o mantenedor estava abrindo a válvula).

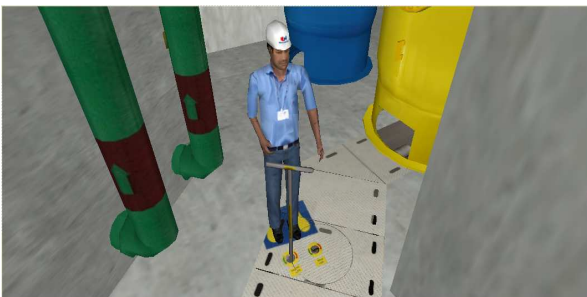


Fig. 7. Fechamento da válvula *by-pass*

A Fig. 8 mostra o retorno à normalização do fluxo de óleo no regulador de velocidade após o restabelecimento de todas as condições de funcionamento da máquina.

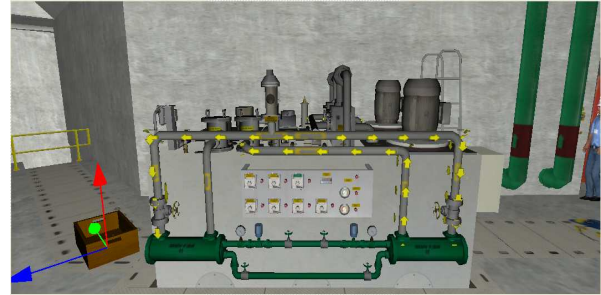


Fig. 8. Funcionamento do regulador de velocidade depois da normalização das pré-condições. As setas indicam o sentido do fluxo de óleo no trocador de calor

#### IV. Avaliação do Sistema ITV

Com o objetivo de avaliar as impressões dos usuários finais do sistema quanto à sua utilização no treinamento de manutenção, em comparação ao treinamento tradicional, com Instruções Técnicas em papel e plantas da usina. Aplicou-se um questionário para avaliar aspectos do uso do sistema, da qualidade do treinamento, da motivação oferecida, entre outros. Este questionário foi respondido por 40 funcionários de diversos setores da UHE Tucuruí, como: Técnicos de manutenção elétrica, técnicos de manutenção eletrônica, operadores da usina, engenheiros de automação e gerentes que executaram os treinamentos sobre as ITVs construídas. A tabulação gráfica das respostas e uma pequena análise é mostrada a seguir.

A primeira questão trata da “Avaliação da adequação do sistema aos objetivos do treinamento de manutenção de uma UHE”. Seu objetivo é verificar se a forma de treinamento desenvolvida através do sistema é adequada ao treinamento em questão. A Fig. 9 mostra o resultado da avaliação.

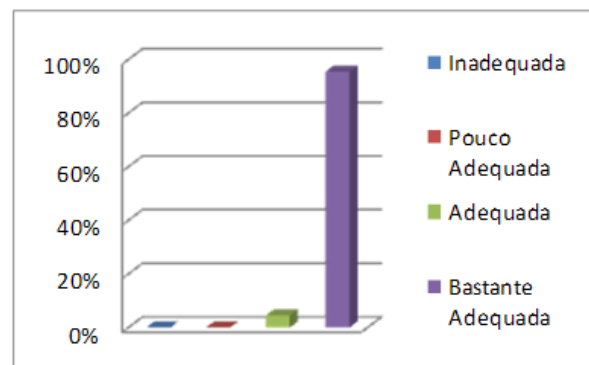


Fig. 9. Adequação do sistema aos objetivos do treinamento

Na avaliação pode-se notar que a grande maioria (95,5%) dos entrevistados entende que a forma de treinamento apresentada pelo sistema, ou seja, através de técnicas de realidade virtual e tendo a interação do usuário para realizar os procedimentos é bastante adequada ao treinamento de manutenção de uma UHE.

A próxima questão trata da “Avaliação do grau de realismo das peças e equipamentos virtuais apresentados durante o treinamento”. Essa pergunta está relacionada à qualidade dos modelos tridimensionais gerados e ao reconhecimento, por

parte dos usuários, dos modelos virtuais como os modelos reais que estão acostumados a lidar. A Fig. 10 apresenta o resultado dessa questão.

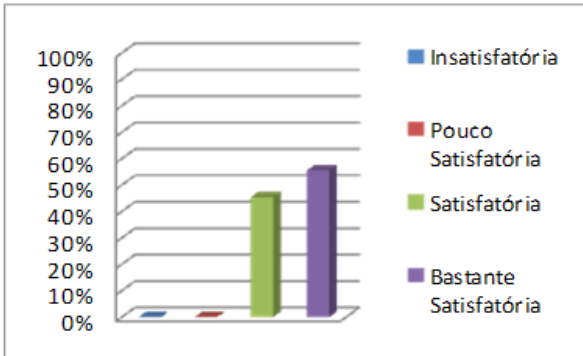


Fig. 10. Qualidade realística das peças e equipamentos virtuais

Pela avaliação das repostas têm-se que 45,4% responderam que o grau de realismo das peças é satisfatório e 54,6% responderam que este grau é bastante satisfatório, ou seja, todos os avaliados concordam que o grau de realismo das peças e equipamentos apresentados é muito semelhante aos reais.

Para avaliar o grau de usabilidade da *interface* do sistema, foi feita a questão “Qual o nível de compreensão da interface do sistema”, buscando interpretar a facilidade ou não no uso do sistema da forma em que foi construído.

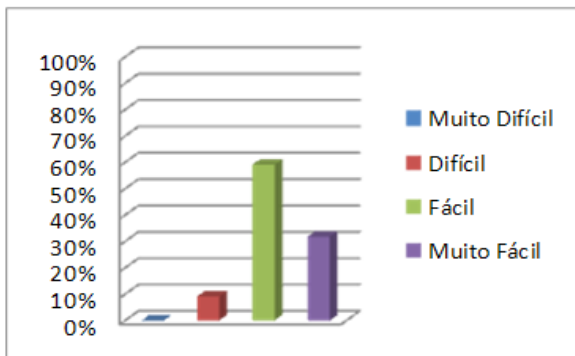


Fig. 11. Nível de compreensão da interface do sistema

Dos 40 avaliados, 59,1% consideraram o nível de compreensão da interface Fácil e 31,8% consideraram muito fácil, totalizando 91% de aprovação da interface. Entrevistando os 9% restantes, levantou-se que estes não usam computador em suas atividades cotidianas, assim, qualquer interface apresentada teria avaliação semelhante. O alto grau de aprovação de usabilidade da interface se deve a uma preocupação constante durante a criação em dispor as ferramentas e funções de acordo com os padrões de usabilidade, a criação de ícones personalizados e de ajudas sensíveis ao contexto.

A questão seguinte também avalia a usabilidade, mas do ponto de vista da interação do usuário. A pergunta “Avalie a realização dos procedimentos do sistema através dos botões, navegação e manipulação com mouse”, verifica qual o grau de dificuldade percebido pelo usuário quando foi requerida sua interação com o sistema, utilizando ferramentas para

desmontar peças ou pressionando botões de comando nas interfaces virtuais da UHE. A Fig. 12 apresenta o resultado.

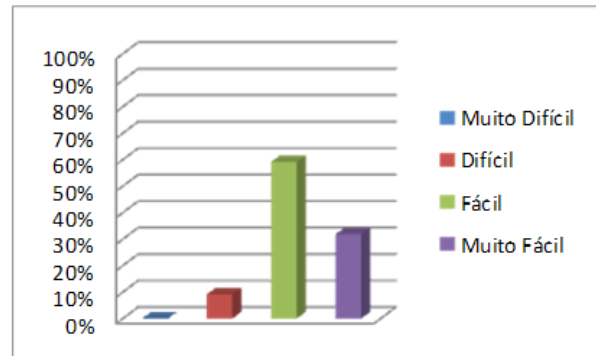


Fig. 12. Nível de dificuldade para realização de procedimentos

O resultado obtido é exatamente igual ao obtido na pergunta anterior. Ou seja, os usuários que tiveram dificuldade com a interface do sistema também tiveram em sua interação, pelos mesmos motivos.

Um elemento muito importante em treinamentos é o grau de motivação proporcionado pela maneira com que o treinamento é conduzido, disso depende, em grande parte, o resultado geral do treinamento. Na Fig. 13 é apresentada a tabulação das repostas à questão “Avalie a motivação oferecida pelo sistema na realização dos procedimentos”.

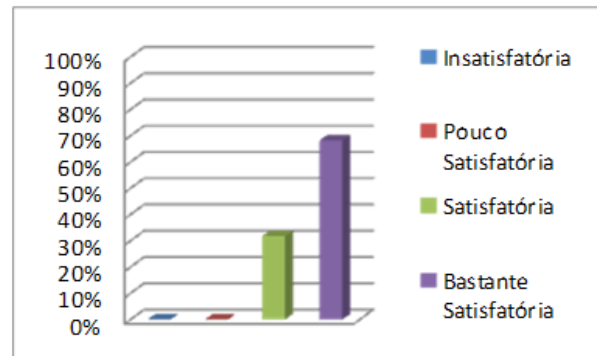


Fig. 13. Motivação oferecida pelo sistema

Pela análise do resultado, verifica-se que 68,2% dos avaliados consideraram que a motivação oferecida pelo sistema é bastante satisfatória e 31,8% consideraram, no mínimo, satisfatória. Assim, a totalidade dos entrevistados sentiu-se motivada com o uso do sistema não havendo nenhuma resposta negativa a essa questão.

Outro ponto que se desejava avaliar com a implementação de um sistema de treinamento com as características deste era a melhoria na qualidade do treinamento quando comparado à forma de treinamento tradicional. Para avaliar essas comparações foi feita a questão “Compare a qualidade/quantidade dos conhecimentos obtidos através do treinamento com o uso da ITV e o método tradicional (plantas e manuais)” A resposta para essa questão pode ser vista na Fig. 14.

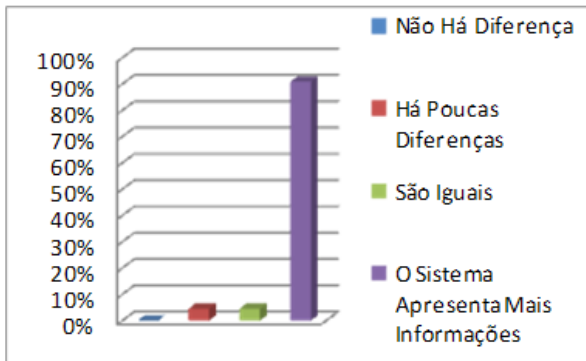


Fig. 14. Comparação dos conhecimentos adquiridos com a ITV

Pela análise das respostas verifica-se que 91% dos entrevistados perceberam que a quantidade e a qualidade dos conhecimentos obtidos com o uso da ITV é superior à forma tradicional de treinamento. O restante avaliou que a quantidade de conhecimento obtido é igual ou difere pouco da forma tradicional. A grande aprovação na qualidade e quantidade de conhecimento obtido com o uso do sistema se deve à riqueza de detalhes apresentados pela ITV. Além disso, o uso da realidade virtual oferece diversas possibilidades de interação que o treinamento tradicional não possui, como visualizar as peças por vários ângulos, testar caminhos alternativos caminhos para a manutenção, visualizar a área de manutenção por outros ângulos, etc.

Outro elemento avaliado no questionário foi a retenção de informações obtida com o uso da ITV em comparação com o treinamento convencional. Para esta avaliação foi feita a questão “Comparado com o método tradicional, o sistema ITV proporciona um grau de retenção de informações (visuais, espaciais e técnicas)”. Onde o usuário poderia responder: muito inferior, inferior, igual ou superior. As respostas estão tabuladas na Fig.15.

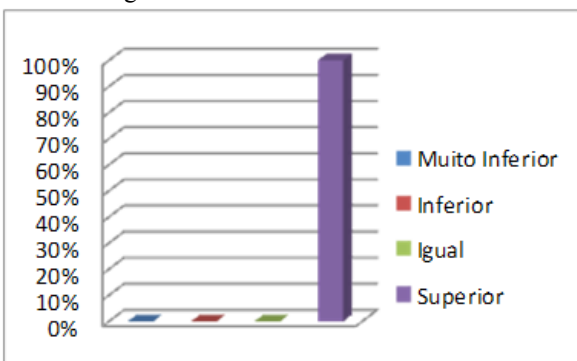


Fig. 15. Comparação da retenção de informações através da ITV

Nesta questão, todos os entrevistados informaram que através do treinamento utilizando a ITV o grau de retenção de informações é superior ao treinamento tradicional. Isso se deve à própria forma de execução do treinamento, onde o usuário é “desafiado” a executar os procedimentos de manutenção usando o mouse e “pegando” as ferramentas e o treinamento só prossegue quando o usuário executa o procedimento corretamente, forçando-o assim a conhecer a localização das

peças, as ferramentas necessárias, a sequência de passos a serem executados, ou seja, forçando-o a reter todas as informações necessárias para a execução daquela manutenção.

A última questão visava avaliar o grau de satisfação geral do usuário na utilização do sistema. Essa questão visava levantar se a soma de todas as características individuais do sistema produziu uma solução agradável ao usuário. A Fig. 16 apresenta o resultado.

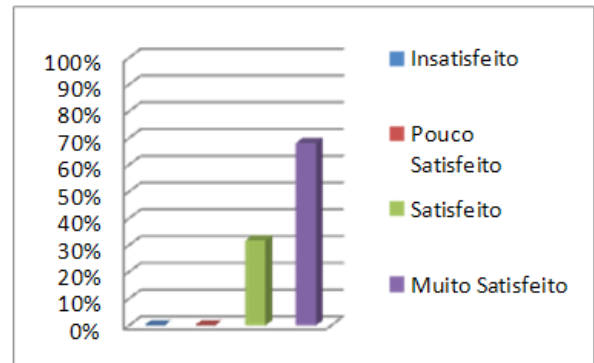


Fig. 16. Satisfação no uso do sistema

O resultado da análise geral do sistema foi que 31,8% dos entrevistados sentiram-se satisfeitos com seu uso e 68,2% sentiram-se muito satisfeitos. Entende-se que todos os entrevistados sentiram-se, pelo menos, satisfeitos em sua interação com o sistema. Este resultado é fruto da preocupação com a adequação geral do sistema com os anseios dos técnicos que o utilizarão, já que o sistema foi construído através de sucessivas reuniões com técnicos de diversas áreas da UHE de Tucuruí.

## V. Conclusões

Com este trabalho procurou-se demonstrar através de um estudo de caso prático, o da construção da instrução técnica virtual de manutenção da válvula detetora de pressão do regulador de velocidade, que é possível construir uma Instrução Técnica de Manutenção em um ambiente virtual de forma simples e visual. Por outro lado, pela análise dos resultados da avaliação do sistema pelos usuários finais é possível inferir que a instrução técnica gerada atende vários critérios para um bom treinamento além da experiência de seu uso ter sido avaliada como muito superior quando comparada ao treinamento convencional, pois a grande maioria dos entrevistados considerou que o sistema apresenta mais informações que os métodos tradicionais e a retenção de informações foi considerada, por unanimidade, superior ao treinamento tradicional.

Assim, a experiência de desenvolver um ambiente que permita aos técnicos construir suas próprias instruções técnicas virtuais, sem necessidade de conhecimentos prévios de informática, e depois executá-la permitindo interagir com o ambiente virtual à medida que o treinamento ocorre. Atingiu plenamente seu objetivo, referendado pela avaliação dos próprios usuários e possibilitando um ganho real na qualidade e retenção do conhecimento adquirido para o corpo técnico da UHE.

## VI. Referências

- [1] Creager W. P e Justin J. D., *Hydroelectric Handbook*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1962.
- [2] JUNIOR, A. P.; RIBEIRO FILHO, M.; BARATA, P. N. A.; NASCIMENTO, M. A.; SILVA, F. N.; MOREIRA, P. I. C. Instruções Técnicas De Manutenção E Operação Virtuais De Uma Unidade Geradora Hidráulica. In: SNPTTE – SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 20., 2009, Recife.
- [3] JUNIOR, A. P. Hidrogeradora Virtual: Utilizando Técnicas de Realidade Virtual Desktop para o Estudo de uma unidade Hidrelétrica de Energia. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém - Pará, 2006.
- [4] JUNIOR, A. P.; RIBEIRO FILHO, M.; BARATA, P. N. A. Manual do módulo de usuário do Sistema ITV. UFPA/Eletronorte. 2009.
- [5] Bluemel, E., Hintze, A., et al., "Virtual environments for the training of maintenance and service tasks. 2003". Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference , vol.2. The Fairmont New Orleans, p. 2001-2007, 2003.
- [6] Schenk, M.; Blumel, E.; et al. "Technology Enhanced Training at Workplace: A Virtual Reality Based Training System for the Technical Domain. In: 1st International Conference on EBusiness and E-Learning Proceedings, ISBN 9957-8585-0-5, p. 57-62, 2005.
- [7] Wang, Q.; Li, J. "A desktop VR prototype for industrial training applications". Virtual Reality, Vol. 7 No3-4, pp. 187-197, Springer, 2004.
- [8] JUNIOR, A. P.; RIBEIRO FILHO, M.; BARATA, P. N. A. Manual do módulo de autoria do Sistema ITV. UFPA/Eletronorte. 2009.
- [9] Alstom Brasil/Centrals Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). "Mancal Guia - Elevação" Ref. TUF-E-TUR-0400-R2.
- [10] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). "Labirinto" Ref. TUF-E-TUR-0414-R1.
- [11] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). "Descritivo Funcional – Mancal Guia" Ref. TUF-E-TUR-0425-MD-R0.
- [12] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). "Casa de força – Blocos 13 a 23 – Seção Transversal" Ref. TUC-E-SUG-301-0051.
- [13] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). "Mancal Guia – Planta" Ref. TUF-E-TUR-0404-R0.
- [14] SOUSA, Marcos Paulo Alves de ; PAMPLONA JUNIOR, Alcides Renato da Silva ; RIBEIRO FILHO, M. ; REIS, Felipe Vaz . Treinamento de Montagem e Manutenção em uma Unidade Hidrelétrica de Energia Usando Realidade Virtual Desktop. Revista IEEE América Latina, v. 6, p. 15, 2008.

## VII. Biografias



**Manoel Ribeiro Filho** nascido em 1956, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (1979) mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (1991) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2002) . Atualmente é Professor Associado I da Universidade Federal do Pará.

Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Computação Gráfica e Realidade Virtual. Atuando principalmente nos seguintes temas: Realidade Virtual aplicada a Indústria, Laboratórios Virtuais e Jogos Eletrônicos Educacionais.



**Alcides Renato da Silva Pamplona Junior** nascido em 1970, graduou-se em Engenharia Eletrônica em 95 pela Universidade Federal do Pará e em Processamento de Dados pela Universidade da Amazônia em 96. É especialista em Análise de Sistemas (2001) e Mestre em Computação Aplicada (2006), ambos os títulos obtidos na Universidade Federal do Pará. Atualmente trabalha como analista de sistemas no Tribunal Regional Eleitoral. É professor dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação de informática do CESUPA e dos Cursos de Pós-Graduação da Faculdade de

Informática da UFPA e desenvolve sua tese de doutorado como pesquisador do Laboratório de Realidade Virtual da UFPA.



**Diego Carneiro Pinheiro** nascido em 1988, graduando em Engenharia da Computação na Universidade Federal do Pará. Possui como umas das áreas de interesse programação, com ênfase em JAVA e C++.



**Pebertli Nills Alho Barata** Técnico em Desenvolvimento de Programas pelo CEFET-Pará (2004), é também Engenheiro de Computação pela UFPA (2008). Atualmente é discente de mestrado em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFPA.



**Fábio do Nascimento Silva**, graduou-se em Administração de Empresas pela Unitins-TO e Técnico em Mecânica pela Escola Téc. Fed. do MA, especialista em Gestão Estratégica da Inovação Tecnológica do Setor de Energia Elétrica pela UNICAMP e atualmente é Mestrando em Engenharia Civil em ênfase em Engenharia de Produção na UFPA. Desde 1982 como Técnico de Engenharia. Desenvolve atividades de Engenharia de Manutenção de Hidrogeradores, Compensadores Síncronos e Subestações 138, 230 e 500 Kv.



**Pedro Igor Carvalho Moreira**, formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Técnica de Braunschweig, mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Pará e atua há 05 anos como Engenheiro de Manutenção na Eletronorte na área de Supervisão da Qualidade da UHE Tucuruí.