

Avaliação do Sistema de Autoria de Instruções Técnicas Virtuais

Alcides Pamplona Junior
Universidade Federal do Pará
apamplonajr@gmail.com

Manoel Ribeiro Filho
Universidade Federal do Pará
manoelrib@gmail.com

Caio Moreira
Universidade Federal do Pará
caioxmoreira@gmail.com

Abstract -- Authoring system for building Virtual Technical Instructions (VTI). This program allows technicians of a Hydroelectric Power Plant, without knowledge of computing, build technical instructions of Operation and Maintenance in a virtual environment. This construction uses photorealistic 3D models of mechanical parts and allows technicians to interact with the statements created in order to assemble and disassemble the equipment (in the maintenance instructions) and throw the keys and commands in computer interfaces (in case of operation instructions). Until this work completion has already been built 8 VTIs that have being tested in Tucuruí Hydroelectric by Eletronorte's technicians. This article presents one of VTIs created, which is maintenance of the actuator valve from speed regulator. At the end, are presented the results of system's use by technicians of the plant.

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

Resumo – Sistema de autoria para construção de Instruções Técnicas Virtuais (ITV). Esse programa permite que técnicos de uma Usina Hidrelétrica de Energia, sem conhecimentos de computação, construam Instruções Técnicas de Operação e Manutenção em um ambiente virtual. Essa construção usa modelos 3D de peças mecânicas fotorrealísticas e permite que os técnicos possam interagir com as instruções criadas de modo a montar e desmontar os equipamentos (nas instruções de manutenção) e acionar as chaves e os comandos nas interfaces computacionais (no caso das instruções de operação). Até a conclusão deste trabalho, já foram construídas 8 ITVs que estão sendo testadas na usina de Tucuruí por técnicos da Eletronorte. Este artigo apresenta como estudo de caso, uma das ITVs criadas, que é a manutenção da válvula atuadora do regulador de velocidade. Ao final, são apresentados os resultados da avaliação do uso do sistema pelos técnicos de uma usina hidrelétrica.

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

1. Introdução

A Manutenção de Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) [1] impacta diretamente na qualidade da geração de energia e no nível de risco operacional. Tais

manutenções precisam seguir normas, chamadas de Instruções Técnicas (IT). Estas podem ser de Manutenção (ITM) ou de operação (ITO). As ITMs consistem em roteiros textuais definindo a seqüência de passos que devem ser executados contendo esquemas bidimensionais indicando os locais onde será realizada e as peças que sofrerão manutenção. Bem como, a descrição das atividades que serão executadas [2].

Em [2] [3] apresenta-se alguns sistemas de treinamento de procedimentos de montagem e desmontagem de peças contidas em uma UHE utilizando técnicas de Realidade Virtual Desktop, atendendo aos principais requisitos de treinamento virtual disponíveis nas referências [4] [5] [6].

Em [2], é apresentado um sistema de desenvolvimento de um programa computacional, chamado de Sistema de Autoria de Instruções Técnicas Virtuais, que permite a um técnico montar uma instrução técnica em um ambiente virtual, chamada Instrução Técnica Virtual (ITV), de operação ou manutenção. As ITVs usam modelos 3D da construção civil das usinas e dos equipamentos (turbinas, geradores e auxiliares), para mostrar os processos de manutenção e operação. Até a presente data já foram construídas 8 ITVs todas de sistemas da Usina Hidrelétrica de Tucuruí e mais 3 estão em desenvolvimento. Essas ITVs estão em fase de implantação na UHE Tucuruí e já foram testadas por técnicos da Eletronorte. Este artigo apresenta informações sobre o processo de construção de uma ITV e os resultados obtidos junto aos técnicos da Eletronorte.

A seção 2 apresenta o processo de criação de uma instrução técnica virtual, usando como estudo de caso a construção da ITV da manutenção da válvula atuadora do sistema regulador de velocidade. Na seção 3 são apresentados os resultados do questionário de avaliação do sistema submetido a 40 técnicos da Usina Hidrelétrica de Tucuruí que utilizaram o sistema. A seção 4 apresenta as conclusões.

2. Criação de uma ITV

A criação de uma Instrução Técnica Virtual ou ITV pode ser dividida em três fases. Primeiro é realizada a coleta de dados sobre os aspectos que cercam a

manutenção, o ambiente onde será feita a manutenção, as peças que serão manipuladas, as ferramentas utilizadas, a quantidade de mantenedores e os equipamentos de proteção utilizados. Esse levantamento é feito através de materiais técnicos, como, manuais dos fabricantes, plantas baixas da instalação, desenhos técnicos digitais, fotos da área onde a manutenção é realizada ou vídeos dos procedimentos de manutenção que contenham informações sobre os elementos que fazem parte da IT. Para exemplificar esse processo, toma-se o exemplo da modelagem da válvula atuadora ou válvula piloto do regulador de velocidade do pré-distribuidor da turbina. A válvula atuadora é um componente que transforma um sinal elétrico de pequena potência, emitido pelo regulador de velocidade, em um sinal hidráulico capaz de movimentar a válvula de controle do servomotor principal. A Figura 1 apresenta um dos materiais coletados, que contém a demonstração esquemática do funcionamento da válvula atuadora.

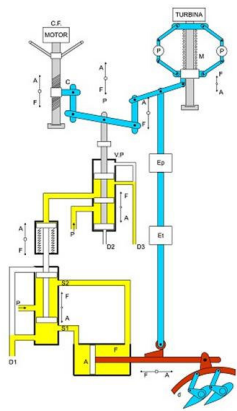


Figura 1. Esquema de funcionamento da válvula atuadora

A válvula de controle dos servomotores principais recebe o comando hidráulico para sua abertura ou fechamento através de um servomotor piloto controlado pela válvula atuadora e direciona o óleo sob pressão ao servomotor principal. O servomotor piloto juntamente com a válvula de controle dos servomotores principais operam como um amplificador de sinal, uma vez que a válvula atuadora do regulador de velocidade não tem condições para controlar o fluxo hidráulico para movimentar o servomotor principal. Desta maneira, a válvula atuadora envia o comando hidráulico para o servomotor piloto que por sua vez movimenta a válvula do servomotor principal e esta comanda o servomotor principal, responsável pela movimentação das pás do rotor e do pré-distribuidor.

Na modelagem, também foram utilizados cortes transversais esquemáticos, como o mostrado na Figura

2, para visualizar as peças no interior da válvula. A particularidade de possuir algumas peças com a mesma geometria em ambos os lados da secção facilitou na modelagem, essas peças puderam ser obtidas pela simples revolução de suas linhas do corte.

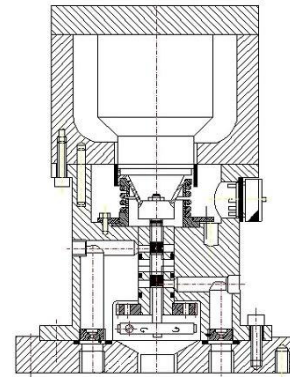


Figura 2. Vista em corte vertical da válvula atuadora

A modelagem é feita com o auxílio de softwares como Blender e 3D Studio Max, acrescido de plugin para a exportação dos modelos no formato MESH[8].

Após a modelagem em 3D, o passo seguinte é a obtenção da textura, que deve ser tratada graficamente e em seguida mapeada na peça. Para garantir o fotorrealismo das peças utiliza-se como textura fotos reais das peças, como mostrado na Figura 3.



Figura 3. Foto da válvula atuadora

Utiliza-se partes das fotos contendo os diferentes revestimentos que compõem cada peça, parafusos, porcas e roscas. E, a partir destes, cria-se novas imagens que são tratadas com o software de edição de imagem GIMP [9], e servirão de textura para as peças. A Figura 4 mostra o resultado final deste processo para a válvula atuadora.

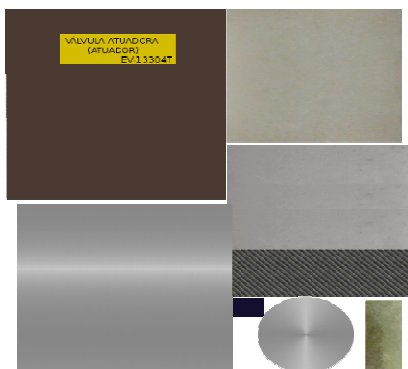


Figura 4. Texturas finais da Válvula Atuadora

A última fase da modelagem é o mapeamento das texturas nas peças, que basicamente consiste em posicionar, orientando corretamente, as texturas sobre as respectivas faces das peças. Desta forma, a peça obtém sua aparência final e está pronta para ser exportada para o Sistema ITV.

Este processo é repetido para todas as peças a serem modeladas. Uma vez que se tenha concluído, a etapa seguinte é a construção da ITV no Sistema ITV seguindo a descrição contida na IT.

O sistema ITV permite a criação de Instruções Técnicas Virtuais de modo visual, pelos próprios técnicos de manutenção, para serem utilizadas por outros técnicos durante os treinamentos em manutenção, com o objetivo de simplificar o entendimento dos procedimentos e otimizar sua execução.

O primeiro passo na construção de um novo projeto no Sistema ITV é o carregamento de todas as peças que fazem parte da manutenção. Normalmente não é carregado apenas o ambiente onde será executada a manutenção, mas a várias partes da estrutura de concreto que compõem a usina e outras peças, com o objetivo de iniciar com o ponto de vista do mantenedor na parte exterior da usina e deslocá-lo até o local onde será efetuada a manutenção.

Deste ponto em diante, a construção da ITV é feita visualmente através de uma seqüência de passos e cada passo representa uma etapa no procedimento de manutenção descrito na IT.

Antes do início da desmontagem das peças para realizar a manutenção há uma etapa descrita na IT chamada de pré-condições. Estas são condições são estados de exceção em que certos equipamentos devem ser colocados antes do início da manutenção para garantir a segurança dos mantenedores durante a execução dos procedimentos. Normalmente essa fase não requer intervenção por parte dos usuários quando do treinamento por tratar-se de condições que devem ser apenas verificadas para a continuação da

manutenção. A Figura 5 mostra uma das pré-condições para a manutenção da válvula atuadora que é o fechamento das válvulas de isolamento manual e *by-pass*. A cena mostra a condição e a janela *pop up* no centro da tela descreve-a.



Figura 5. Início de um passo na etapa das Pré-Condições da manutenção da válvula atuadora.

Depois que todas as pré-condições são construídas inicia-se a construção da manutenção que, usualmente, se configura em uma desmontagem de peças até se chegar àquela que é objeto da manutenção e será substituída ou limpa, dependendo do caso, a remontagem das peças e o restabelecimento das pré-condições ao estado normal.

Depois das pré condições, posiciona-se o ponto de vista do mantenedor na posição inicial da manutenção, como mostra a Figura 6.

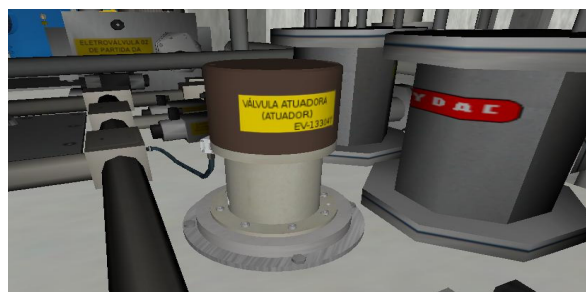


Figura 6. Posição inicial para a manutenção da Válvula Atuadora

Cada passo, contém uma Linha do Tempo para cada peça que sofra transformação neste passo. Através da linha do tempo o construtor da ITV pode definir que transformações cada peça sofrerá e o tempo de duração dessas transformações.

As linhas do tempo apresentam marcadores que indicam o instante inicial e final de execução das transformações de cada peça no decorrer do passo.

A Figura 7 mostra as linhas do tempo de algumas peças em um passo da ITV. Cada tipo de transformação possui um marcador com uma cor diferente.

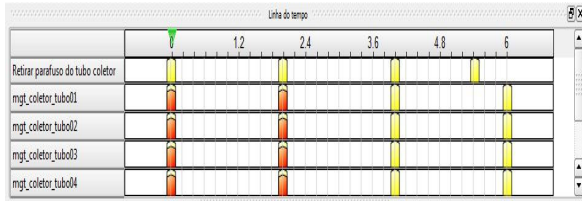


Figura 7. Linhas do tempo com seus marcadores

Nos passos em que é requerida uma interação do usuário, o desenvolvedor da ITV pode colocar na tela uma janela *pop up* com a descrição do procedimento a ser executado e indicar quais são as interações que o usuário deve realizar para prosseguir ao passo seguinte da ITV. A cor de fundo dos *pop ups* é selecionável e indica o tipo de informação que este contém. Um *pop up* na cor verde contém uma informação, a cor amarela indica uma ação a ser executada pelo usuário e a vermelha uma informação relativa à segurança. Se o usuário realizar a interação corretamente, como pegar uma chave de fenda e soltar um parafuso ou guardar as porcas na caixa de manutenção, o sistema demonstra visualmente a execução destas ações, caso contrário o sistema aguarda até que o usuário execute ação corretamente. A Figura 8 mostra um passo da ITV onde o usuário interage, com o auxílio de um alicate e um ferro de solda para soltar a cordoalha da válvula atuadora.

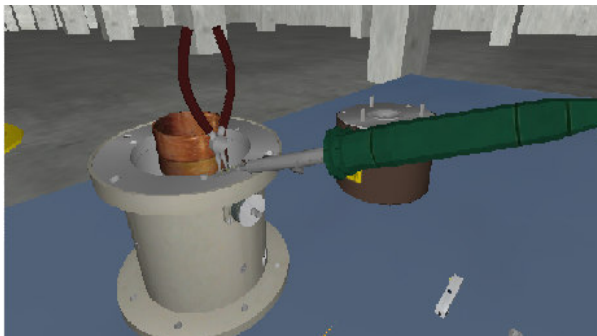


Figura 8. Interação do usuário retirando a cordoalha da válvula atuadora

Durante o processo de desmontagem, diversas ferramentas em bitolas variadas são utilizadas. Para esse fim, existe uma biblioteca de ferramentas contendo as várias bitolas em que as ferramentas são produzidas, as quais o construtor da ITV pode fazer uso durante a criação da ITV. A Figura 9 mostra uma visão de outro passo da desmontagem da válvula atuadora sobre a bancada de manutenção e as ferramentas utilizadas para realizar a desmontagem.

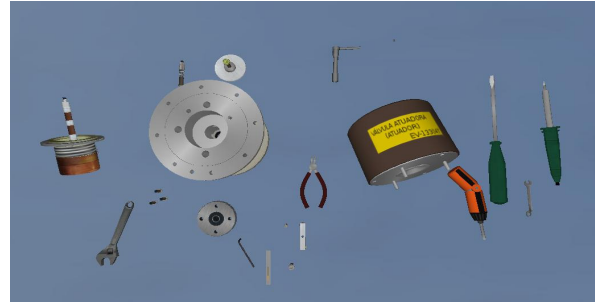


Figura 9. Um passo na desmontagem da válvula atuadora e as ferramentas utilizadas

De acordo com a manutenção que está sendo promovida, é grande a quantidade de parafusos e porca que são retirados. Para que estes não fiquem espalhados pelo local da manutenção, são armazenados em caixas de madeira como mostra a Figura 10. Essa armazenagem também faz parte do procedimento de manutenção e é executada através da interação do usuário.

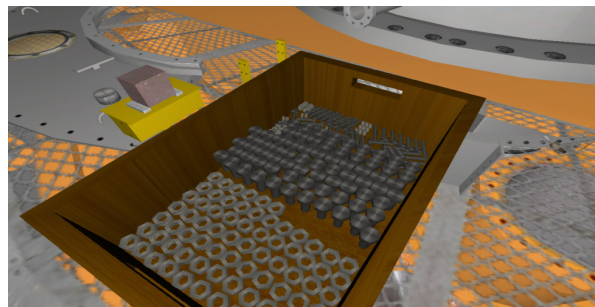


Figura 10. Caixa contendo os parafusos e porcas retirados durante o procedimento de manutenção

Ao final da manutenção, normalmente, uma nova peça substitui a peça objeto da manutenção. Para indicar a substituição por uma nova peça é possível ao construtor da ITV inserir um brilho na cor verde ou vermelha sobre a peça, indicando que é uma nova peça substituindo a anterior.

Uma vez construídos todos os passos de desmontagem, faz parte do procedimento de manutenção a montagem das peças para que estas retornem ao seu funcionamento normal em seu local original. Normalmente a montagem é feita na ordem inversa da desmontagem, com a última peça desmontada sendo a primeira da montagem e assim sucessivamente. Para simplificar essa etapa, o sistema ITV conta com diversas funcionalidades que permitem inverter os passos criados na desmontagem sem a necessidade de mexer em nenhuma peça. Assim, os passos da montagem são construídos automaticamente baseados nos passos da desmontagem.

Além da montagem das peças, é necessário o retorno das pré-condições estabelecidas na máquina para a normalidade, permitindo que a válvula detectora possa ser reativada. Esses passos também são construídos automaticamente usando os passos criados nas pré-condições. A Figura 11 mostra um mantenedor normalizando o funcionamento da válvula *by-pass*.



Figura 11. Fechamento da válvula *by-pass*

O construtor também monta os passos da normalização do funcionamento da unidade geradora e pode usar sinalizadores, como setas e sinais, para indicar a normalização da máquina. A Figura 12 mostra a normalização do fluxo de óleo no regulador de velocidade após o restabelecimento das condições de funcionamento da máquina. As setas são animadas e percorrem o sentido do fluxo de óleo dentro do trocador de calor do regulador de velocidade.

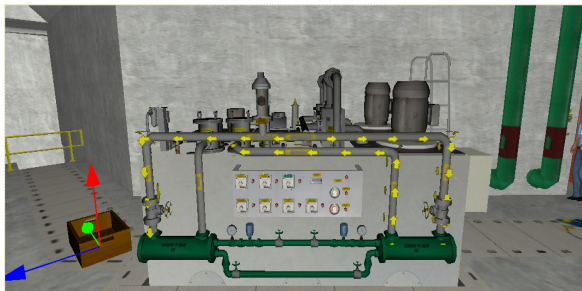


Figura 12. Funcionamento do regulador de velocidade depois da normalização das pré-condições.

Ao final da execução de uma ITV pelo usuário, o sistema exibe um relatório descrevendo todas as interações corretas e incorretas executadas e uma avaliação percentual de seu desempenho. Este modo de operação do sistema é chamado Modo Guiado, pois guia o usuário a cada passo através de mensagens na tela, que são retiradas do texto da IT, descrevendo as ações a serem executadas em cada passo em cada passo. Além deste modo, existe o Modo Automático no qual toda a ITV é executada sem a necessidade de intervenção do usuário, normalmente esse modo é

usado nos primeiros contatos com uma nova ITV para que o mantenedor se familiarize com ela, e o Modo Livre onde a interação do usuário é requerida, porém o auxílio textual com a descrição do procedimento contido na IT não é exibido. Este modo é utilizado para testar o aprendizado do usuário após o uso dos modos anteriores e também gera um relatório que indica todas as ocorrências do usuário durante a execução da ITV e uma avaliação percentual de seu desempenho.

O conjunto de todos os passos executados em sequência resulta na ITV. Que é a representação virtual do conteúdo da IT.

3. Avaliação do Sistema ITV

Para avaliar as impressões dos usuários finais do sistema quanto à adequação deste ao treinamento de manutenção e compará-lo ao treinamento tradicional, utilizando Instruções Técnicas em papel. Desenvolveu-se um questionário que para avaliar aspectos de usabilidade do sistema, buscando aperfeiçoar sua interface de acordo com o interesse dos usuários e informações sobre a qualidade do aprendizado oferecido pelo sistema, comparando-o com a forma tradicional de treinamento. O questionário foi respondido por 40 funcionários de diversos setores da UHE Tucuruí, como: Técnicos de manutenção elétrica, técnicos de manutenção eletrônica, operadores da usina e engenheiros de automação. Além de gerentes de outras unidades. À seguir estão listadas as tabulações dos resultados.

A Figura 13 apresenta o resultado da avaliação da questão: Avalie a adequação do sistema aos objetivos do treinamento em montagem e manutenção de uma UHE.

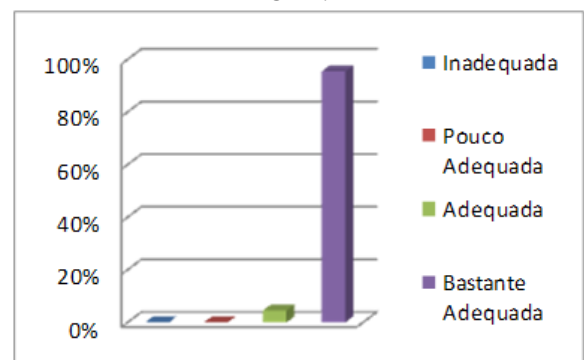


Figura 13. Adequação do sistema aos objetivos do treinamento

Desta avaliação conclui-se que o emprego de um sistema de realidade virtual com as características deste para o treinamento de manutenção de uma UHE é visto como bastante adequado por 95,5% de todos os entrevistados.

A Figura 14 apresenta o resultado do questionário para a questão: Avalie o nível de realismo das peças e equipamentos virtuais apresentados durante os treinamentos de montagem e manutenção.

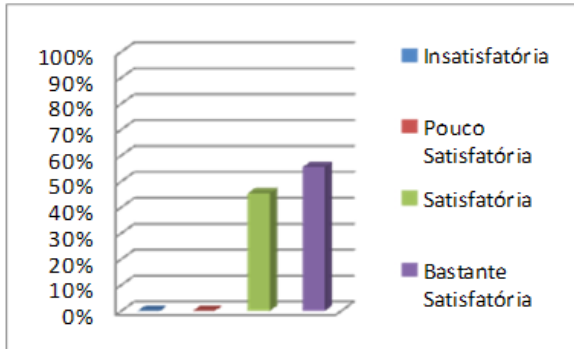


Figura 14. Qualidade realística das peças e equipamentos virtuais

Da 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, 100% dos avaliados concordam que o grau de realismo das peças apresentadas é igual ao que é apresentado por outros meios.

A Figura 15 mostra a avaliação da questão: Qual o nível de compreensão da interface do sistema. Esta questão busca verificar o grau de usabilidade da interface.

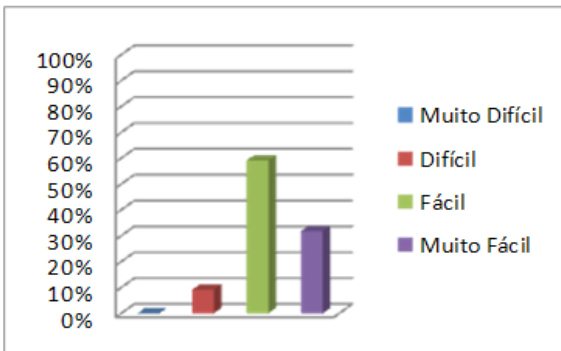


Figura 15. Nível de compreensão da interface do sistema

Dos 40 avaliados, 59,1% consideraram o nível de compreensão da interface Fácil e 31,8% consideraram muito fácil, totalizando 91% de entendimento das funções da interface. Isso se deve a uma preocupação durante a criação em disponibilizar os itens de acordo com os padrões de usabilidade e de criar ícones personalizados e ajudas sensíveis ao contexto.

A Figura 16 mostra a tabulação dos questionários para a questão: Avalie a realização dos procedimentos

do sistema através dos botões, navegação e manipulação com mouse.

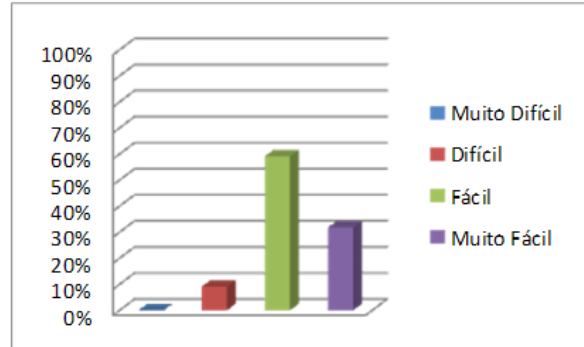


Figura 16. Nível de dificuldade para realização de procedimentos

Os resultados obtidos são exatamente iguais aos da Figura 15, de onde se conclui que 91% dos entrevistados não encontraram dificuldade na execução dos procedimentos usando as ferramentas disponibilizadas pelo sistema.

Na Figura 17 é apresentado o resultado da avaliação da questão: Avalie a motivação oferecida pelo sistema na realização dos procedimentos.

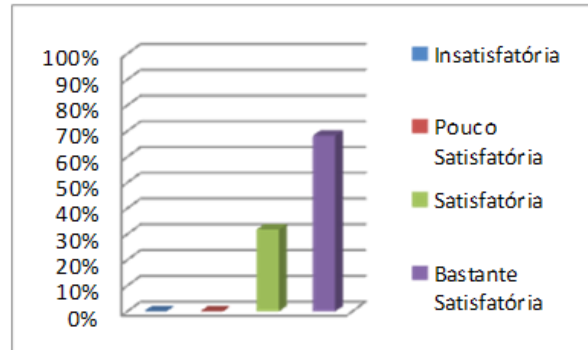


Figura 17. Motivação oferecida pelo sistema

A qualidade do conhecimento obtido foi levantada através da questão: Compare a qualidade/quantidade dos conhecimentos obtidos através do treinamento com o uso da ITV e o método tradicional (plantas e manuais). Sua avaliação pode ser vista na Figura 18.

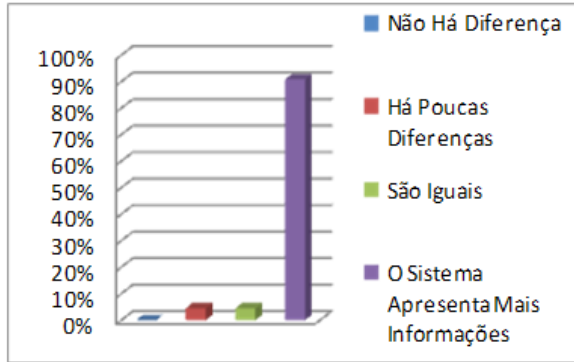


Figura 18. Comparação dos conhecimentos adquiridos com a ITV

Pode-se ver no quadro que 91% dos entrevistados concluíram que a quantidade e a qualidade dos conhecimentos recebidos utilizando a ITV é superior à forma tradicional de treinamento. Isso se deve à riqueza de detalhes apresentados pela ITV além das diversas possibilidades de interação, como a visualização da área de manutenção por ângulos diferentes, a possibilidade de rotacionar, mover ou escalar peças ou grupos de peças, etc.

Para uma avaliação da retenção de conhecimento, comparado ao treinamento convencional, foi feita seguinte questão: Avalie o grau de retenção de informações (visuais, espaciais e técnicas) do sistema ITV comparado ao modo de treinamento convencional. As respostas estão tabuladas na Figura 19.

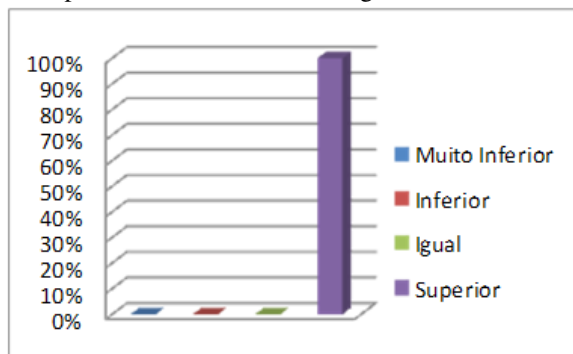


Figura 19. Comparação da retenção de informações através da ITV

Nesta resposta, 100% de dos entrevistados afirmaram que o treinamento utilizando a ITV promove uma retenção de informações superior ao treinamento convencional.

A última questão tratava do grau de satisfação dos entrevistados quanto ao uso do sistema. A Figura 20 apresenta o resultado.

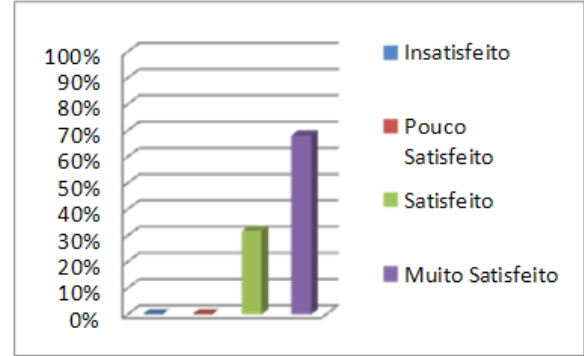


Figura 20. Satisfação no uso do sistema

Analisando o resultado, têm-se que 31,8% sentiram-se satisfeitos com o uso do sistema e 68,2% sentiram-se muito satisfeitos com o seu uso. Assim, 100% dos entrevistados sentiram-se satisfeitos com sua interação com o sistema, o que é resultado da preocupação com a adequação geral do sistema com os anseios dos técnicos que o utilizarão.

4. Conclusões

O artigo demonstra através de um estudo de caso prático, o da IT da manutenção da válvula atuadora do regulador de velocidade, como construir uma instrução técnica virtual de manutenção desde a modelagem das peças até a construção dos passos da ITV, em um ambiente virtual, de forma simples e visual. A análise dos resultados do questionário de avaliação do uso do sistema aplicado aos técnicos de manutenção e operação de uma hidrelétrica, permite observar que os usuários entrevistados consideram o Sistema ITV adequado aos objetivos de treinamento. Quanto à qualidade de interface, é oferecido um nível realístico das peças virtuais muito satisfatório. A compreensão da interface do sistema é considerada muito fácil e o grau de dificuldade para realização de procedimentos através da interface do sistema é considerado muito fácil. A motivação oferecido pelo sistema na realização dos procedimentos é considerada bastante satisfatório.

Também, na experiência proporcionada pelo uso do Sistema ITV, a grande maioria dos entrevistados considerou que o sistema apresenta mais informações que todos os métodos tradicionais utilizados até o momento. Outro ponto a considerar é que a retenção de informações através da ITV foi, por unanimidade, superior ao treinamento tradicional. Na avaliação geral do sistema, a totalidade dos entrevistados demonstrou-se satisfeita com o uso do sistema.

Assim, a experiência de desenvolver um ambiente virtual que permita aos técnicos construírem suas próprias instruções técnicas, sem conhecimento prévio de nenhum tipo de linguagem de desenvolvimento ou

ferramenta de modelagem, e depois executá-las durante os treinamentos de manutenção, permitindo a interação dos usuários à medida que o procedimento se desenvolve, atingiu plenamente seu objetivo. Dado o retorno obtido nos questionários aplicados, possibilitando um ganho real na qualidade e retenção do conhecimento em manutenção dos técnicos da UHE de Tucuruí, além de servir como uma ferramenta de apoio ao treinamento com diversas possibilidades, desde a interação do usuário, passando pela liberdade de manipulação do ambiente e encerrando em uma avaliação do grau de retenção das informações apresentadas e da habilidade do usuário na condução da manutenção por meio de uma avaliação percentual de seu desempenho e um relatório de erros e acertos.

5. 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: SNPTEE – 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] Murdock, K. L. (2007). 3DS Max 9 Bible. Wiley Publishing.
- [9] P. Mattis and S. Kimball. Gimp - gnu image manipulation program. <http://www.gimp.org/>, 2003.
- [10] 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 Hidráulica de Energia Usando Realidade Virtual Desktop.
- [11] Revista IEEE Latin America, v. 6, p. 15, 2008. Alstom Brasil/Centrals Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). “Mancal Guia - Elevação” Ref. TUF-E-TUR-0400-R2.
- [12] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). “Labirinto” Ref. TUF-E-TUR-0414-R1.
- [13] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). “Descritivo Funcional – Mancal Guia” Ref. TUF-E-TUR-0425-MD-R0.
- [14] 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.
- [15] Alstom Brasil / Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (2002). “Mancal Guia – Planta” Ref. TUF-E-TUR-0404-R0.
- [16][30] SOUSA, Marcos Paulo Alves de ; RIBEIRO FILHO, M. ; PAMPLONA JUNIOR, Alcides Renato da Silva ; HOUNSELL, Marcelo da Silva ; REIS, Felipe Vaz ; BARATA, Perbletli Nils Alho . Um Ambiente de Treinamento de Manutenção em uma Unidade Hidrelétrica de Energia Usando Realidade Virtual Desktop”. In: IX Symposium on Virtual Reality, 2007, Petropolis. SVR2007, 2007.
- [17] EPE, Empresa de Pesquisa Energética. “Balanço Energético Nacional 2008”, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro: EPE, 2008.
- [18] Kiameh, P. Power Generation Handbook. McGraw Hill Professional, 1 Edition 494 p. August, 2002.
- [19] VEIGA, J. R. C. “Oportunidades de Negócio com a Repotenciação de Usinas: Aspectos técnicos, econômicos e ambientais”. Dissertação (Mestrado em engenharia de energia). Programa de Pós-Graduação em Energia - USP. São Paulo, 2001.
- [20] Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte. Relatório da Administração 2007.
- [21] NUNES, E. L. “Sistematização do processo de atualização tecnológica em empresas de geração hidrelétrica”. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UFSC. Santa Catarina, 2007.
- [22] DHILLON, B. S. Engineering maintenance: a modern approach. USA: CRC Press LLC, 2002.

- [23] LIMA, A. A. “Ambiente Virtual de Treinamento em Montagem. Estudo de caso: Pequena Empresa Moveleira”. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia civil). Programa de Pós-Graduação de Engenharia - UFRJ. Rio de Janeiro, 2008.
- [24] Tam, E. et al. “A Web-based virtual environment for operator training [for power systems]”. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14 No.3, 802-808, 1999.
- [25] Schoen, D. “Educando o Profissional Reflexivo: Um Novo Design para o Ensino e a Aprendizagem”, Editora Artmed, 2000.
- [26] G. Burdea and P. Coiffet, “Virtual Reality Technology”. Second Edition, John Willey & Sons, 2003.
- [27] Guo, J., et al. “Visualization of a Hydro-Electric Generating Unit And Its Applications”. Systems, Man and Cybernetics, 2003 IEEE International Conference. Vol. 3, p. 2354-2359, 2003.