


AMBIENTE VIRTUAL COM REALIDADE VIRTUAL INTERATIVA NO AUXÍLIO DE ENSINO DE ENGENHARIA DE REATORES *VIRTUAL ENVIRONMENT WITH INTERACTIVE VIRTUAL REALITY IN REACTOR ENGINEERING TEACHING*

Lucas de Castro Miguel¹ Ana Paula Legey² André Cotelli do Espírito Santo³ Antônio Carlos de Abreu Mól⁴ 

Resumo: Os discentes do curso de engenharia têm tido dificuldade de compreender o básico da engenharia de reatores, seus componentes principais, as conexões que levam de um ciclo a outro, a escala de tamanho entre os componentes. Por outro lado, na última década foram desenvolvidos diversos estudos a respeito da efetividade do uso da realidade virtual (RV) como ferramenta de ensino. A partir do exposto, este trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um ambiente virtual que tem a potencialidade de auxiliar o ensino de engenharia de reatores. Para tal um ambiente virtual foi construído com a ferramenta *SolidWorks* para apresentar o funcionamento do primeiro e segundo ciclo de um reator nuclear de água pressurizada, possibilitando ao discente de engenharia uma melhor visualização dos componentes da engenharia básica de uma usina nuclear geradora de potência, por meio da realidade virtual interativa. Além dessa plataforma virtual ser usada como ferramenta de ensino, outra funcionalidade apresentada é a utilização dela como repositório *online* dos objetos virtuais modelados pelos desenvolvedores de ambientes virtuais, ou professores que possam utilizá-los como ferramenta para o ensino de conteúdos de outras disciplinas relacionadas a engenharia de reatores. Uma outra contribuição seriam os pesquisadores utilizarem a plataforma como uma alternativa para a difusão do conhecimento sobre a energia nuclear dentro e fora de sua comunidade de pesquisa. Acredita-se que esse ambiente virtual possa contribuir tanto para área de ensino de engenharia de reatores quanto para a divulgação científica.

¹ Mestre em Ciências e Tecnologias Nucleares (IEN/CNEN), Instituto de Engenharia Nuclear/CNEN, luc057@hotmail.com.

² Doutora em Ensino em Biociências e Saúde (IOC/FIOCRUZ). PQ2 DC- CNPq, Jovem cientista do Nosso do Estado do Rio de Janeiro (Faperj), Centro Universitário UniCarioca, anapaula.legey@gmail.com.

³ Mestre em Ciência e Tecnologia Nucleares (IEN/CNEN), Doutorando no PPGI/UFRJ, Centro Universitário UniCarioca, asanto@unicarioca.edu.br.

⁴ Doutor em Engenharia Nuclear (COPPE Nuclear/UFRJ), PQ 1C-CNPq, Cientista do Nosso Estado (Faperj), Instituto de Engenharia Nuclear/CNEN, mol@ien.gov.br.

Palavras-chave: Ambiente virtual. Realidade Virtual. Engenharia de Reatores. Ensino.

Abstract: Engineering course students have had difficulty understanding the basics of reactor engineering, its main components, the connections that lead from one cycle to another, the size scale between components. On the other hand, in the last decade, several studies have been developed regarding the effectiveness of using virtual reality (VR) as a teaching tool. From the above, this work aims to present a virtual environment that has the potential to help the teaching of reactor engineering. For this purpose, a virtual environment was built with the *SolidWorks* tool to present the operation of the first and second cycle of a pressurized water nuclear reactor, allowing engineering students to better visualize the basic engineering components of a nuclear power plant, for example, through interactive virtual reality. In addition to this virtual platform being used as a teaching tool, another functionality presented is its use as an online repository of virtual objects modeled by the developers of virtual environments, or teachers who can use them as a tool for teaching content from other related disciplines. reactor engineering. Another contribution would be for researchers to use the platform as an alternative for disseminating knowledge about nuclear energy within and outside their research community. It is believed that this virtual environment can contribute both to the area of teaching reactor engineering and to scientific dissemination.

Keywords: Virtual environment. Virtual reality. Reactor Engineering. Teaching.

1 INTRODUÇÃO

Lecionar conteúdos da área de engenharia de reatores, tem sido uma tarefa difícil para os professores, bem como os alunos vêm apresentando dificuldades na aprendizagem dos componentes principais, as conexões que levam de um ciclo a outro, a escala de tamanho entre os componentes, entre outros conteúdos. Trata-se de uma disciplina complexa que quando lecionada levando em consideração apenas os conceitos teóricos pode comprometer a qualidade do ensino.

Por outro lado, Sampaio e Martins (2013) comentam que a RV é comprovadamente eficaz, por exemplo quando utilizada como ferramenta de ensino. Estes autores realizaram uma pesquisa no campo do ensino de engenharia, demonstrando que a RV pode ser utilizada na concepção de material didático de interesse educativo.

Chelles et al. (2012), ao desenvolverem, no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) uma ferramenta em RV fins didáticos e de treinamento que envolve as farmácias nucleares hospitalares, perceberam que a RV pode ser usada para educar os estudantes para que manipulem os radioisótopos sem que sejam expostos aos mesmos. Uma outra aplicação da RV é a possibilidade do treinamento de operadores, criando uma simulação de operações para troca de combustível em usinas nucleares (RÓDENAS et al., 2004).

Todos estes autores desenvolveram cenários virtuais a partir de motor de jogos, uma ferramenta de RV. No entanto, o motor de jogo precisa de uma placa de aceleração gráfica instalada no dispositivo, para que o *software* sirva ao seu propósito com fluidez. Muitas vezes também, os arquivos de instalação deste software possuem muitos megabytes de tamanho, demandando uma conexão de banda larga para que o usuário possa fazer o *download* desses arquivos, para então efetuar a instalação e só assim utilizá-lo.

Nesse sentido, é possível que o uso da RV em um ambiente virtual possibilite que o usuário apenas acesse o endereço do site do ambiente virtual de aprendizagem (AVA), usando um navegador *web* e a plataforma que já irá se apresentar. Essa facilidade vem ao encontro com o dinamismo demandado pelos usuários de computador da atualidade.

Os ambientes virtuais de aprendizagem, *softwares* desenvolvidos para o gerenciamento da aprendizagem por meio da *Web* têm incorporado em suas plataformas diferentes tecnologias de informação e comunicação (TICs) nas metodologias apresentadas (PINTO et al., 2002).

As instalações de pesquisa como o Laboratório de Realidade Virtual (LABRV) do IEN, espaço onde os autores deste artigo desenvolvem suas pesquisas, ainda não contam com uma plataforma unificada *online* de exibição e compartilhamento dos artefatos digitais que foram modelados pelos seus pesquisadores para a criação de ambientes virtuais. O uso do AVA, para esse fim, possibilitaria aos pesquisadores trocarem conhecimento de uma forma mais simples e dinâmica.

Outrossim, o AVA pode ser uma importante tecnologia para organizar as informações digitais e disseminá-las. Anzolin e Corrêa (2001, p. 805) explicam que “essa quantidade de informações vem desafiando tanto aqueles que precisam encontrá-las quanto os encarregados de organizá-las”. Diante desse cenário, o papel dos profissionais da informação, tem-se adaptado para atender às crescentes necessidades dos usuários.

Hoje os estudos sobre o AVA estão bastantes difundidos principalmente com o crescente aumento da demanda dos discentes e instituições por tecnologias de Educação a Distância (EAD). Destacam-se o TelEduc, que surgiu como uma proposta de dissertação de mestrado do Instituto de Computação da universidade UNICAMP (BARBOSA, 2005). Um AVA muito popular entre docentes e discentes no mundo hoje é o Edmodo, que segundo Maricato (2010, p. 43), “(...) propicia uma prática pedagógica dinâmica focada em uma construção do conhecimento interativa, colaborativa, cooperativa e de autoria entre seus participantes.”

A partir do exposto, este artigo tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um ambiente virtual que tem a potencialidade de auxiliar o ensino de engenharia de reatores com a implementação de tecnologias de RV para o auxílio aos docentes em conteúdos relacionadas à engenharia de reatores, além de utilizar a web como plataforma de disseminação de conhecimento entre discentes e interessados no tema.

1.1 Ambientes virtuais de aprendizagem

Entende-se que um AVA é caracterizado por um conjunto de ferramentas computacionais que permitem a criação e o gerenciamento de cursos à distância, potencializando processos de interação, colaboração e cooperação. E sendo assim, os ambientes virtuais de aprendizagem podem ser utilizados para ampliar espaços de interação em cursos na modalidade presencial, como também para gerenciar cursos ofertados na modalidade semipresencial e/ou totalmente a distância (BASSANI, 2006).

De acordo com Santos (2003), apesar da expressão ambientes virtuais de aprendizagem ser atualmente muito utilizada, seu conceito não é tão claro e merece atenção. De modo geral, em um AVA tem a implementação de recursos digitais de comunicação, principalmente, por meio de *softwares* educacionais via web que reúnem diversas ferramentas de interação.

O número de instituições de ensino no Brasil que utilizam o AVA como ferramenta de ensino cresce a dia (BELLONI, 2008). De acordo com (PEREIRA, 2007) esse crescimento foi acompanhado também do crescente interesse por pesquisas nacionais relacionadas a esse tema, que resultaram no desenvolvimento de conhecimento, através da produção de livros, artigos, teses e dissertações.

O desenvolvimento de um produto para educação é permeado por uma crença de como se dá a aquisição do conhecimento, de como o sujeito aprende. Tal concepção é a base de um processo educacional, como por exemplo os aspectos didáticos pedagógicos propostos no modelo interacionista construtivista (SCHLEMMER E FAGUNDES, 2001).

1.2 Realidade Virtual

A RV é definida como um conjunto de técnicas, tecnologias e interfaces destinadas a fornecer ao usuário a sensação de integração com o sistema computacional e possibilitá-lo a sua imersão no ambiente virtual (SILVA et al., 2015). Esta ferramenta emula ambientes e situações estimulando os sentidos humanos. Ela consiste numa tecnologia de interface avançada que permite ao utilizador interagir, visualizar e manipular objetos em diversos ambientes. O objetivo desta interface complexa é recriar ao máximo a sensação de realidade no utilizador e fazer com este a sinta como se fosse real.

Ackerman (1990) afirma em seu livro que dentre os órgãos dos sentidos que apresentam maior quantidade de receptores são os olhos. Nesse sentido, os *hardwares* e *softwares* exploram o sentido da visão afim de maximizar a imersão e interação do usuário.

A RV surgiu como uma nova interface de interação usuário, usando representações tridimensionais hoje próximas da realidade. Interação é conceituada como o processo de comunicação entre pessoas e sistemas interativos (PREECE et al., 2002) e existem vários aspectos a serem considerados nesta na interação do usuário com computadores, como o contato físico, perceptivo e conceitual (MORAN et al., 1981). Nesta perspectiva, este autor comenta que há um componente físico que pode ser percebido e manipulado, mas há o conceitual o qual o usuário raciocina e interpreta.

Considerando a idade contemporânea, a RV é uma tecnologia dependente de processamento em tempo real e, por isso, são influenciadas pela evolução da computação, tanto do ponto de vista do *hardware* quanto do *software* (KIRNER et al., 2011). Por isso notamos uma constante evolução nas interfaces e no grau de imersão proporcionado por elas para os usuários a medida que são desenvolvidos *softwares* mais sofisticados e *hardwares* com maior poder de processamento. Além disso, existem muitas aplicações para a RV como nas áreas de saúde, indústria e educação (HAFNER et al., 2013).

Em uma das pesquisas da área de saúde, pode se observar a utilização da RV na terapia de pessoas que tem medo de dirigir porque permite simular

cenários realísticos em que o desempenho da atividade de dirigir é modelado ao mesmo tempo em que expõe o usuário a cenas e a situações que lhe causam medo. A exposição é feita de forma gradual e protegida e de maneira mais realística do que quando é imaginária (COSTA et al.; 2010). A RV pode ser usada também para tratamento de casos de transtorno de pânico (CARVALHO et al., 2008), bem como uma estratégia de enfrentamento a situações que causam estresse aos médicos residentes em cirurgia a partir da imersão deles em um centro cirúrgico virtual com essas situações estressoras (GUIMARÃES et al. 2016).

Um estudo procurou analisar o uso da RV junto à ferramenta de realidade aumentada em cirurgias. Neste caso o médico poderá utilizar um capacete de RV contendo um *display* (*HMD – Head Mounted Display*) para operar os pacientes com a menor incisão possível e com maior precisão, enquanto o periférico de realidade aumentada exibe virtualmente a posição em 3D virtual do órgão na posição real do operado (ROMANO, 2010).

A RV pode ser aplicada no campo da radioterapia. Neste caso o médico pode usar um dispositivo preso à sua mão (*Head Mounted Display- HMD*) para facilitar a imersão no ambiente virtual e assim poder posicionar-se em qualquer lugar e observar de forma mais precisa o local onde os feixes deverão passar até entrar em contato com o paciente (ROMANO, 2010). Em uma outra pesquisa, foi desenvolvido um simulador virtual para o treinamento de profissionais na coleta de medula óssea para transplantes (NUNES et al., 2011).

Outrossim, a RV pode ser utilizada no campo da arqueologia, disseminando informações sobre um objeto, uma cidade ou uma civilização inteira, apresentando um novo olhar para as pesquisas área (RUA e ALVITO, 2011), assim como na área militar, a partir de um simulador de uma embarcação militar em uma parceria entre a Marinha do Brasil e o Laboratório de Sistemas Integráveis (ZUFFO et al., 2012).

Hoje os estudantes habitam um mundo dominado pelo uso de tecnologias de informação e comunicação onde o uso de aplicações baseadas em *web* e aplicativos é comum e anos de participação em jogos interativos

geraram novas habilidades de mídia, visuais e de alfabetização digital em alta resolução (SOUSA et al., 2011). Além disso, os estudantes ingressantes no ensino superior são ávidos pela entrega rápida de informações, são multitarefas e gostam do acesso não linear à informação e a aprendizagem experiencial ativa (OBLINGER; OBLINGER, 2003).

Dando exemplo no estudo da química básica, a estrutura atômica pode ser considerada um de seus pilares, exigindo alto nível de abstração, gerando dificuldade de entendimento por parte dos alunos e professores. Por possibilitar vários estilos e tipos de aprendizagem, interatividade e o controle do usuário sobre o que se aprende e como se aprende, a interação efetiva do estudante, estimulando a participação ativa, as técnicas de realidade virtual tornam mais fácil o acesso à compreensão no nível teórico

A bem dizer, as novas modalidades de uso do computador na educação apontam o uso da RV como uma nova mídia educacional em que o computador passa a ser uma ferramenta educacional, uma ferramenta de complementação, de aperfeiçoamento e aprimoramento no processo de ensino (BRAGA, 2001). Temos o exemplo no ensino de química (SILVA E ROGADO, 2008), no ensino de artes (GRENFELL, 2012) e no ensino de modalidades de esporte (YAO et al., 2012).

A RV pode auxiliar os alunos na resolução de problemas de forma individual ou colaborativa, e pode ser utilizado em estratégias permitindo o aluno explorar, experimentar, refletir, debater, criticar (GRENFELL et al., 2012).

Com a expansão da Internet e inclusão digital na sociedade, confere acesso a um maior número de alunos, é interessante o investimento de ferramentas de ensino a distância (EAD) para atender as demandas, investindo em mais laboratórios remotos (COOPER, 2000).

É possível analisar pelos estudos apresentados que a RV é uma ferramenta efetiva para educação e treinamento. Sua efetividade nesses campos é comprovada pelos estudos citados e por existir um crescente interesse de grandes universidades e centros de pesquisa na utilização da realidade virtual nos mais diversos campos.

2 METODOLOGIA APLICADA

2.1 PESQUISA POR MODELOS DE REFERÊNCIA

Tendo em vista que a modelagem tridimensional de alguns componentes de reator nuclear de água leve é parte vital desse trabalho a primeira parte da metodologia foi buscar por referências de tamanho, escala e outras informações técnicas relevantes para a modelagem dele.

O tipo de reator modelado foi um reator de água pressurizada (*Pressurized Water Reactor, PWR*) com três pernas quentes e três pernas frias seguindo as orientações gerais de (WESTINGHOUSE, 1984). O Quadro 1 indica algumas das medidas que foram extraídas dessa publicação para a modelagem de interesse.

Quadro 1 – Alguns parâmetros seguidos do reator PWR para a fase de prototipação

PARÂMETROS SEGUIDOS PARA MODELAGEM - REATOR PWR DE 3 CICLOS	
Diâmetro externo da vareta de elemento combustível	1,38 cm
Espessura do revestimento	0,2 cm
Espaçamento - Pastilha/vareta	0,08 cm
Diâmetro da pastilha de combustível	0,82 cm
Altura da pastilha de combustível	1,35 cm
Arranjo (grid) do conjunto de varetas	17 x17
Número de varetas de combustível por elemento combustível	264
Número total de barras de combustível no núcleo do reator	50,952

Fonte: Westinghouse (1984).

Essa arquitetura de reator foi escolhida para esse projeto por ser o tipo de reator presente virtualmente no LABHIS do IEN (local de desenvolvimento desta pesquisa). De acordo com a IAEA os reatores do tipo PWR são os reatores mais presentes em todas as usinas nucleares geradoras de potência em todo mundo, cerca de 65% dessas instalações utilizam reatores de água pressurizada (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, 2017).

2.2 PROTOTIPAÇÃO

De acordo com Basso e Sakaguti (2011), definimos modelo conceitual ou protótipo como “uma descrição do sistema proposto” – no que diz respeito a um conjunto de ideias integradas e de conceitos sobre o que ele deveria fazer, como se comportar e com o que se parecer – que seria compreensível para os usuários da maneira pretendida.

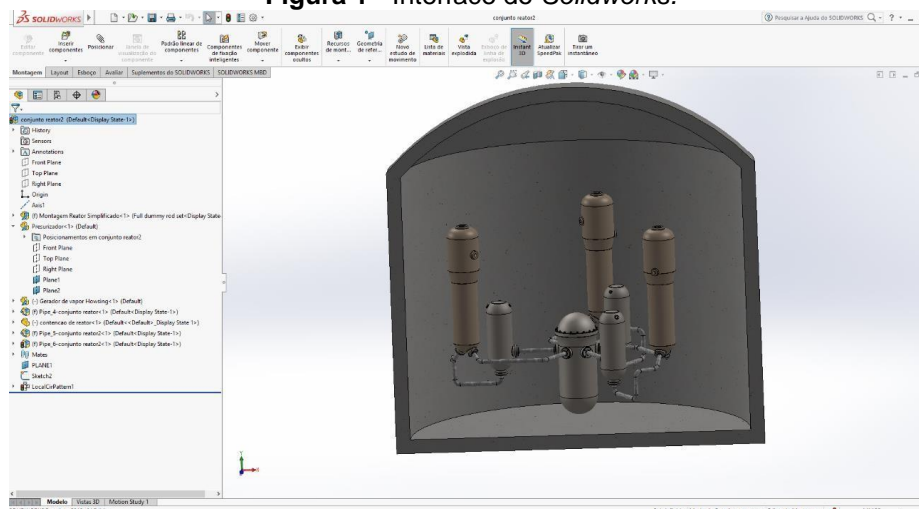
Seguindo as informações sobre engenharia de reatores elencadas no tópico anterior, foram desenvolvidos dois tipos de protótipos antes da modelagem final: protótipos de baixa fidelidade e protótipos de alta fidelidade. Os protótipos de baixa fidelidade não se assemelham a versão final, utilizando, por exemplo, desenhos feitos à mão em folha de papel e caneta. Por sua vez, os protótipos de alta fidelidade são desenhados por meio de um programa de computador e são muito semelhantes à versão final.

2.3 Modelagem tridimensional

A modelagem tridimensional é uma área específica da computação gráfica que tem o objetivo de gerar entidades em três dimensões como ambientes e objetos podendo ser aplicada ou não a interatividade dependendo da aplicação. Existem várias fases para modelagem como arte conceitual, modelagem digital, texturização e iluminação, *rigging* e renderização (TREVAS, et. al 2011; CALCIOLARI, 2011; AZEVEDO, 2005).

Hoje, existem diversos *softwares* que trabalham com modelagem 3D e seu uso está cada vez mais abrangente (TREVAS et al, 2011). A ferramenta usada durante o processo de modelagem foi o *SolidWorks* (Figura 1), que é um *software* de modelagem sólida, paramétrica, baseado etapas e integrado ao sistema operacional Windows.

Figura 1 - Interface do Solidworks.



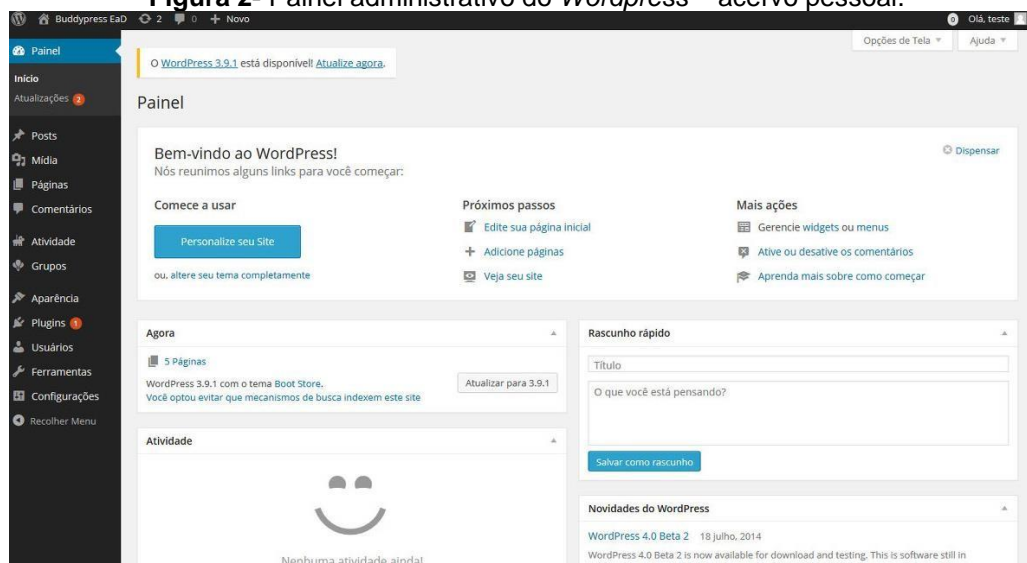
Fonte: Os autores (2023).

2.4 Criação do ambiente virtual de aprendizagem

De acordo com (STERN et. al, 2010), gerir conteúdo na *web* exige uma estrutura técnica complexa. É fato que atualmente organizações têm de lidar com uma grande quantidade de conteúdo como informações de pesquisa e desenvolvimento, procedimentos gerenciais, políticas, corporativas entre outras. Nesse contexto, segundo Parreiras e Bax (2004), surgiram os Sistemas Gerenciadores de Conteúdo (*Content Management System, CMS*).

Os CMS são ferramentas que proporcionam a criação e atualização de material digital em *websites* bem como realiza a gestão de páginas na *web*, tendo as funções de criação e modelagem de conteúdo; repositório como um lugar virtual para armazenar o conteúdo; área de administração e instalação de recursos do CMS; acesso restrito por nível de usuário a determinadas áreas de publicação. Dentre as várias CMS existentes a escolhida para o desenvolvimento desse trabalho foi o *Wordpress* (Figura 2) por ser uma plataforma gratuita e intuitiva.

Figura 2- Painel administrativo do *WordPress* – acervo pessoal.



Fonte: Os autores (2023).

O sistema foi uma iniciativa de código aberto desenvolvido na linguagem de programação PHP e banco de dados MySQL, desenvolvido a partir de outra CMS já extinta Michel Valdrighi. O Wordpress foi inicialmente criado para a criação de blogs, mas devido a sua facilidade de adaptação ele é hoje amplamente utilizado na desde a construção de sites simples a complexos portais corporativos e até lojas eletrônicas (STERN, et al. 2010).

É importante ressaltar que para melhorar a aparência do ambiente virtual de aprendizagem foi aplicado um tema gratuito que melhora a interface para o usuário final.

2.5 Incorporação da ferramenta de realidade virtual interativa no ambiente virtual de aprendizagem

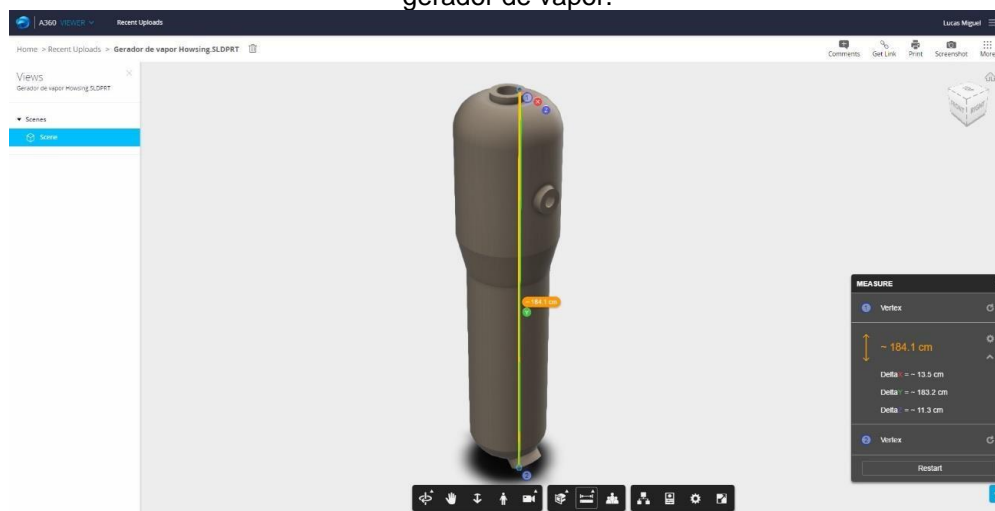
Uma vez criados os modelos tridimensionais no *Solidworks* (AUTODESK, 2007) e criado o ambiente virtual de aprendizagem usando a CMS Wordpress surge uma questão vital: Como apresentar de forma interativa os modelos tridimensionais em um ambiente web? A partir deste questionamento pesquisou-se uma plataforma *online* disponibilizada gratuitamente e foi identificado o A360 Viewer da Autodesk. O A360 Viewer (Figura 3) é uma plataforma de visualização 2D e 3D baseada na Web de

modelos e desenhos e proporciona visualização correta e completa para a maioria dos navegadores disponíveis e dá suporte para mais de 50 formatos de arquivo – incluindo os formatos de arquivo da Autodesk, SolidWorks, CATIA, PRO-E, Rhino e NX (AUTODESK, 2017).

De acordo com AUTODESK (2017), o A360 funciona com todos os navegadores padrão mais populares em dispositivos móveis ou computadores pessoais desde que estejam devidamente atualizados, a saber: Google Chrome versão 29 ou superior, Mozilla Firefox versão 31 ou superior, Apple Safari versão 7 ou superior, Microsoft Internet Explorer versão 11.0.9600 ou superior e Microsoft Edge versão 36 ou superior.

Além disso essa plataforma também possibilita que usuário utilize opções de visualizações como cortes e vista em tela cheia, inserção de marcações ou observações e obtenção em tempo real de medidas nos eixos X, Y e Z.

Figura 3 - Ferramenta régua sendo aplicada no A360 Viewer para medir a altura de um gerador de vapor.



Fonte: Os autores (2023).

Para se incorporar a visualização da peça em qualquer website, o A360 possui uma ferramenta de compartilhamento que gera um código HTML que inclusive pode ser alterado manualmente de acordo com a forma de exibição na plataforma necessária.

2.6 Ambiente virtual de aprendizagem *online*

Seguindo as orientações de Wordpress (2017), a plataforma pode ser hospedada em qualquer servidor *web* desde que de acordo com o mesmo tenha os seguintes requerimentos: PHP versão 7 ou superior, MySQL versão 5.6 ou superior (ou MariaDB versão 10.0 ou superior) com suporte para o protocolo HTTPS. A figura 4 apresenta o A360 incorporado no Wordpress.

Figura 4 - Resultado da visualização do A360 incorporada ao Wordpress.



Fonte: Os autores (2023).

3 RESULTADOS

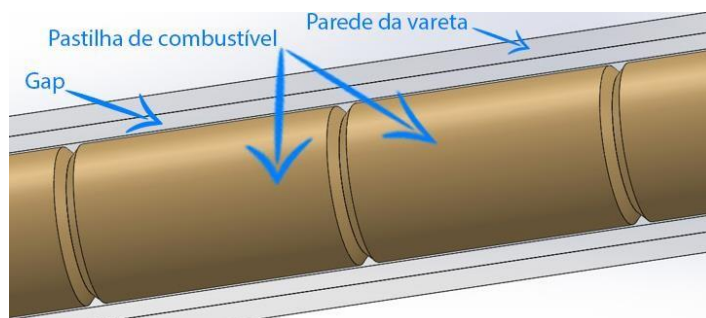
3.1 As partes modeladas do reator de água pressurizada

Nesta seção, apresenta-se a modelagem dos principais componentes envolvidos no circuito primário e secundário além da contenção.

A vareta de elemento combustível (Figura 5) comporta um conjunto de pastilhas que por causa do seu comportamento físico instável, devido ao calor extremo gerado pelo processo de fissão que ocorre no interior dela, a engenharia vareta de elemento combustível prevê que deve haver um espaçamento entre a pastilha de elemento combustível e a parede interna da vareta para permitir a sua expansão lateral.

De acordo com as especificações do projeto modelado existem 271 pastilhas de combustível por vareta. As medidas totais são 412,05cm de altura por 1,38cm de diâmetro.

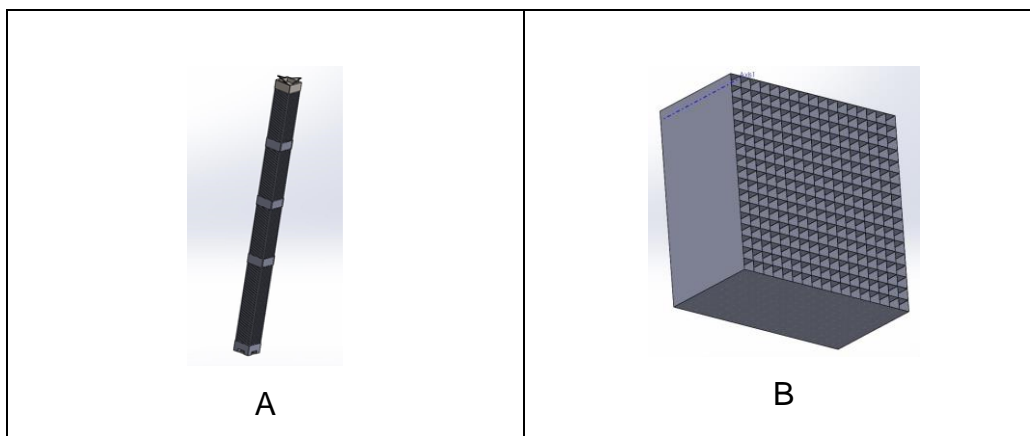
Figura 5 - Pastilhas de elemento combustível (em amarelo) dentro da vareta de combustível modeladas no *SolidWorks*.



Fonte: Os autores (2023).

As varetas de combustível são preenchidas com hélio pressurizado para aumentar a transferência de calor entre o combustível e o tubo de revestimento. (NUCLEBRÁS, 1985). Cada tipo de reator possui um tipo e um arranjo apropriado de varetas de elemento combustível. No projeto modelado trata-se de um elemento combustível em forma quadrada em um arranjo de 17 x 17 (Figura 6A) com um tubo guia central na grade espaçadora (Figura 6B)

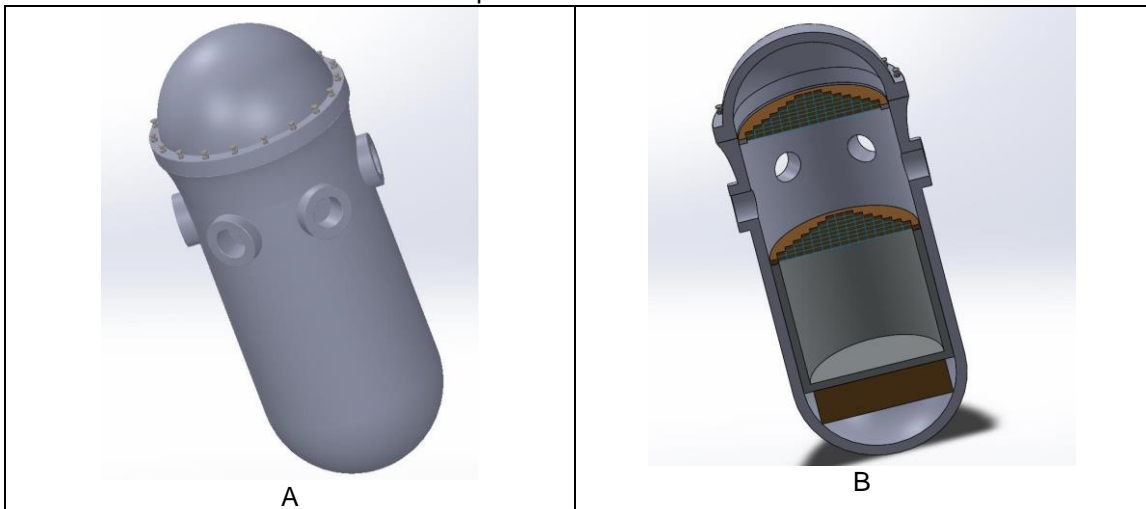
Figura 6 - A) Elemento combustível e B) grade espaçadora modelados no *SolidWorks*.



Fonte: Os autores (2023).

As principais funções do vaso de um reator nuclear de potência são conter o refrigerante e proporcionar suporte mecânico as outras partes do núcleo reator tais como os elementos combustíveis descritos anteriormente nesse trabalho. A figura 7 aponta a vista isométrica do vaso de um reator.

Figura 7 - A) Vaso de um reator modelado no SolidWorks e B) vista isométrica sem transparência do modelo.



Fonte: Os autores (2023).

O pressurizador é colocado no sistema dos ciclos logo após a perna quente (de saída do vaso do reator). Sua principal função é manter a pressão nos circuitos primários para compensar alterações de volume do refrigerante (Figura 8).

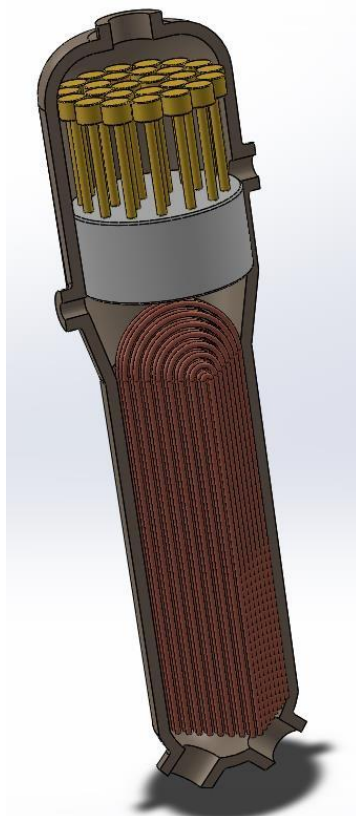
Figura 8 – A) Vista isométrica e B) vista isométrica com corte do pressurizador modelado no SolidWorks.



Fonte: Os autores (2023).

Os geradores de vapor são componentes muito importantes dos sistemas nucleares geradores de potência. Durante a modelagem foi dada atenção especial na modelagem do feixe de tubos, do separador de umidade e do secador de vapor. A figura 9 mostra o gerador de vapor.

Figura 9 - Vista isométrica com corte do gerador de vapor modelado no SolidWorks.

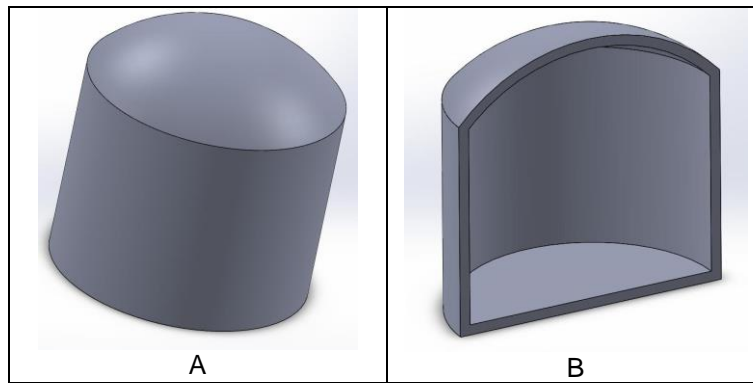


Fonte: Os autores (2023).

Em um reator do tipo PWR a contenção abriga todo o primeiro e segundo ciclo da usina nuclear geradora de potência além da piscina de elementos combustíveis, máquinas de recarregamento elevadores entre outros componentes necessários para o bom funcionamento da instalação. As formas e dimensões da contenção podem variar de acordo com o projeto da usina nuclear geradora de potência. Assim como a contenção de Angra I o modelo tridimensional (Figura 10) possui uma contenção em forma de cilindro com um domo semiesférico no topo.

Para o melhor entendimento do primeiro e do segundo ciclo do reator PWR também foi feita uma montagem tridimensional de todas as peças compondo os três *loopings* do reator.

Figura 10 - A) Contenção do reator modelado no SolidWorks e B) vista isométrica com corte latitudinal do modelo.



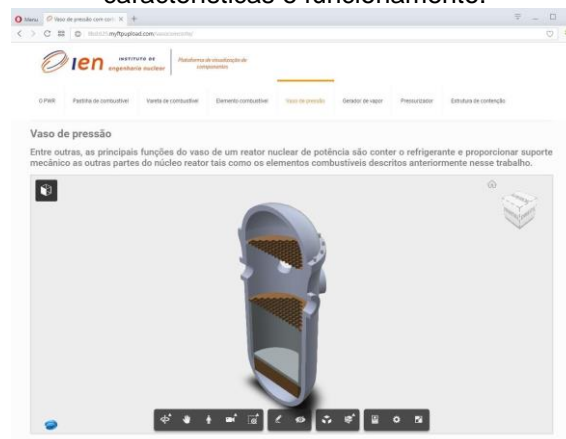
Fonte: Os autores (2023).

3.2 Plataforma responsiva em funcionamento

O *Wordpress* foi a CMS escolhida para a criação do Ambiente Virtual de Aprendizagem exatamente por oferecer nativamente temas que facilitam a incorporação da responsividade em suas aplicações.

O resultado é apresentado na figura 11 após o processo de modelagem tridimensional, criação do AVA, incorporação dos modelos tridimensionais na plataforma de uma forma organizada e disponibilidade deste ambiente *online* (disponível para acesso via *web*). Neste ambiente estão dispostos todos estes elementos inseridos, incluindo suas características e funcionamento, bem como a possibilidade de interação com eles.


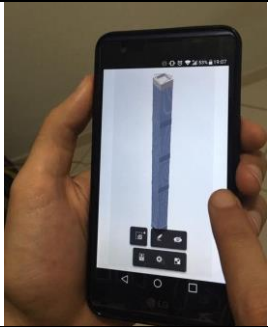


Figura 11 - Vista final da plataforma *online* apresentado o vaso de pressão, suas características e funcionamento.



Fonte: Os autores (2023).

O Quadro 2 apresenta imagens exibindo o AVA em diversos dispositivos e sistemas de diferentes tamanhos. O *design* responsivo ou *layout* responsivo expande e contrai com a finalidade de se acomodar de maneira usável e acessível à área onde é visitado ou, mais genericamente, ao contexto em que é renderizado, seja um *smartphone*, um *tablet* ou um leitor de tela.

Quadro 2- o AVA em diferentes dispositivos

Dispositivo	imagem
Visualização de um pressurizador em tela cheia em um <i>notebook</i> usando sistema operacional Windows de 14 polegadas.	
Visualização do elemento combustível em um <i>smartphone</i> Android de 5.3 polegadas	
Visualização de um gerador de vapor em um <i>tablet</i> simples de 7 polegadas	
Visualização do primeiro e segundo ciclo em um monitor de 23 polegadas na plataforma	

Fonte: Os Autores (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa uniu o ambiente virtual de aprendizagem e a ferramenta de RV a fim de se tornar uma competente ferramenta no auxílio do ensino e treinamento no campo da engenharia de reatores. E por utilizar a *web* como hospedeira, também se torna uma válida forma de divulgação científica ao público interessado.

O AVA descrito na presente pesquisa utiliza as tecnologias presentes na plataforma *A360 Viewer*, também podendo ser usada como repositório dos modelos tridimensionais desenvolvidos pelos pesquisadores de centros de pesquisa voltados a RV, como o LABRV do IEN por exemplo, oferecendo uma nova forma de pesquisa e desenvolvimento colaborativo. Além disso permite que os pesquisadores usem as ferramentas presentes no *A360 Viewer* como forma de trabalho colaborativo, sem a necessidade de instalação de algum *software* específico acessando o AVA diretamente pelo celular ou tablet já que a plataforma é totalmente responsiva.

Uma característica importante desse trabalho é a utilização da plataforma *web* como alicerce. É de conhecimento geral que a *web* é um ambiente vasto, com muito poder de adesão as pessoas que, por sua vez, estão cada dia mais acostumadas a interagir nesse ambiente todos os dias, como as práticas educativas. Nesse sentido, manifesta-se oportuno se futuros pesquisadores sejam eles da área nuclear ou não, utilizem esse trabalho como inspiração para suas pesquisas utilizando também a *web* como tecnologia básica e difusora de suas soluções científicas propostas seguindo crescente e normal esse “fluxo digital” do século XXI.

Dentre as sugestões para os possíveis trabalhos futuros pode-se destacar a inserção de novas ferramentas de realidade virtual interativa como o *A360* no AVA para fornecer aos discentes, pesquisadores e interessados novas formas de visualização e ferramentas de edição online dos modelos tridimensionais. Uma outra proposta seria a integração do AVA a um simulador de mesa de controle de uma usina nuclear geradora de potência para acrescentar o elemento de dinamismo aos elementos tridimensionais a medida

que a os comandos forem inseridos na mesma, por exemplo, abaixar e subir os elementos combustíveis.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN D. **A Natural History of the Senses**. New York Random House, 1990..

ANZOLIN, H., CORRÊA L. **Biblioteca Universitária como Mediadora na Produção de Conhecimento**. Revista Diálogo Educacional, v.8, n.25, 2008. Disponível em: <http://www2.pucpr.br/reol/pb/index.php/dialogo?dd1=2448&dd99=view&dd98=p> b acessado em 10 de maio de 2017.

AUTODESK **SolidWorks Office Premium 2008 – Manual: Essencial Peças e Montagens**. Edit. SolidWorks Corporation. 2007.

AUTODESK. **Site de ajuda da plataforma A360 da Autodesk**, disponível em: <https://a360.autodesk.com/features/index.html>, último acesso em 11 de maio de 2017.

AUTODESK. **Install and Known Issues**. Autodesk A360 Collaboration v2 for Revit. 2017.

AZEVEDO, E., **Desenvolvimento de Jogos 3D e Aplicações em Realidade Virtual**. Editora Campus, 2005.

BARBOSA R. **Ambientes Virtuais de Aprendizagem**. Editora Artmed, Porto Alegre, 2005, p78.

BASSANI, P. B. S. **Modelagem das interações em ambiente virtual de aprendizagem**. 2006. 184 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias da Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BASSO, T.; SAKAGUTI, T. S. **Prototipação de Interfaces: Reduzindo custos e melhorando o projeto**. 2011. Disponível em: <https://quorkbr.files.wordpress.com/2011/03/artigo-final.pdf>.

BELLONI, M. L. **Educação a Distância**. Campinas: Autores Associados, 2008.

BRAGA, M. **Realidade Virtual e Educação**. REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA, Volume 1 - Número 1 - ISSN 1519-5228 . 2001.

CALCIOLARI, F. **3ds Max 2012 - Modelagem, Render, Efeitos e Animações**. Editora: ERICA, 2011.

CARVALHO, M. R.; FREIRE, C. F.; NARDI, A. E. **Realidade virtual no tratamento do transtorno de pânico**. Laboratório de Pânico e Respiração; Instituto de Psiquiatria; Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) Programa de PósGraduação em Psiquiatria e Saúde Mental do Instituto de Psiquiatria da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2008

CHELLES, D.; MOL, A. C. A. et al.; **Nuclear Pharmacy and Virtual Reality: Coupling Technology in Supporting of Learning Simulated Interface for Education in Brazil**. Acta Farmacéutica Bonaerense, 2012.

COOPER, M. **The challenge of practical work in a university - real, virtual and remote experiments**. Proc. of the Information Society Technologies Conference. 2000.

COSTA, R. T.; CARVALHO, M. R.; NARDI, A. E. **Virtual Reality Exposure Therapy in the Treatment of Driving Phobia: A Systematic Review**. Psicologia: Teoria e Pesquisa. 26. p 35. 2010.

GRENFELL, J. **Through the looking glass: teaching and learning in blended immersive multiuser virtual and real world environments**. Faculty of Arts and Education, Deakin University Australia. 2012.

GUIMARÃES, S; LEGEY, AP, MOL, ACA. et al, 2016. Realidade virtual na educação médica: ambiente cirúrgico virtual como base para estratégias de enfrentamento de situações estressora. Revista Carioca de Ciência, Tecnologia e educação. V.1, n.1, 2016. Disponível em: <https://recite.unicarioca.edu.br/rccte/index.php/rccte/article/view/27> Acesso em 24 de março de 2023.

HAFNER P, HAFNER V, OVTCHAROVA J. **Teaching Methodology for Virtual Reality Practical Course in Engineering Education**. International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education, 2013.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. Operational & Long-Term Shutdown Reactors. 2017 Disponível em: <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. **Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada**. IN: RIBEIRO, M.W.S.; ZORZAL, E.R. Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e tendências. XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality. SVR 2011. Uberlândia, MG., p. 10-25, 2011.

MARICATO D. **Edmodo e suas potencialidades na educação como ambiente virtual de aprendizagem**. Porto Alegre, 2010

MORAN T. **The Command Language Grammars: a representation for the user interface of interactive computer systems**. International Journal of Man-Machine Studies, 1981.

NUCLEBRÁS. **Atividade de Segurança de Reatores do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear da Nuclebrás**. Nuclebrás/CDTN – 561/85. 1985.

NUNES, F. L. S.; COSTA, R. M. E. M.; MACHADO, L. S.; MORAES, R. M. Realidade Virtual para saúde no Brasil: conceitos, desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 27, n. 4, p. 243-258, 2011.

OBLINGER D. G.; OBLINGER, J. L. **Educating the Net Generation**. ISBN 09672853-2-1 EDUCAUSE. 2003.

PARREIRAS, F. S., BAX, M. P. **Geração de Sistemas de Gestão de Conteúdo com Softwares Livres**, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

PEREIRA, A. T. **AVA - Ambientes Virtuais de Aprendizagem em Diferentes Contextos**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. 2007

PINTO, S.; SCHLEMMER, E.; SANTOS C.; PÉREZ C. **AVA: Um Ambiente Virtual Baseado em Comunidades**. XIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE - UNISINOS 2002.

PREECE J, ROGERS Y, SHARP E. **Beyond Human-computer Interaction**. New York, NY: John Wiley & Sons. 2002.

RÓDENAS J., ZARZA I., BURGOS M. C., FELIPE A., SÁNCHEZ-MAYORAL M. **Developing a virtual reality application for training nuclear power plant operators: setting up a database containing dose rates in the refueling plant**. NCBI, PubMed. Radiat Prot Dosimetry, 2004.

ROMANO, S. M. V. **Realidade Aumentada Aplicada a Medicina**. 2010

RUA, H.; ALVITO P. Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage – the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria. **Journal of Archaeological Science**, v. 38, n. 12, p. 3296-3308, 2011.

SAMPAIO, A. Z.; MARTINS, O. P. The application of virtual reality technology in the construction of bridge: The cantilever and incremental launching methods. **Automation in Construction**, v. 37, p. 58-67, 2014

SANTOS E. O. **Ambientes virtuais de aprendizagem: por autorias livre, plurais e gratuitas**. Revista FAEBA, v.12, no. 18, 2003.

SANTOS V, HERMOSILLA L. **Realidade Virtual na Medicina**. REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PERIODICIDADE SEMESTRAL – ANO I - NÚMERO 2 – ISSN 1807-1872. 2005

SCHLEMMER, E.; FAGUNDES, L. **Uma proposta para avaliação de ambientes virtuais de aprendizagem na sociedade em rede**. Informática

na Educação: Teoria e Prática, Porto Alegre. UFRGS, Faculdade de Educação, Pós Graduação em Informática na Educação, v.4, n.2, dez, 2001.

SILVA, M. H.; SANTO, A. C. E.; MARINS, E. R.; LEGEY, A. P.; MOL, D. M.; MOL, A. C. A. Using virtual reality to support the physical security of nuclear facilities. Progress in Nuclear Energy (New Series), v. 78, p. 19-24, 2015, p. 19-24, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149197014001851>

SILVA, J. E.; ROGADO, J. **Realidade Virtual no Ensino de Química: o caso do modelo de partículas**. Núcleo de Educação em Ciências, Faculdade de Ciências Exatas e da Natureza, UNIMEP - XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ). 2008.

SOUSA, R. P.; MOITA, F. M. C. S. C.; CARVALHO, A. B. G. **Tecnologias Digitais na Educação**. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

STERN, H.; DAMSTRA, D.; WILLIAMS, B.: **Professional Wordpress – Design and Development**. Wiley Publishing. 2010.

TREVAS C, CAVALCANTI E, CAVALCANTI, J. **Elaboração e Modelagem Tridimensionais para Produção de Conteúdos em Museus de Ciências: o caso do Museu de Oceanografia de Serra Talhada-PE**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Laboratório de Pesquisa em Tecnologias da Informação e da Comunicação – LATEC/UFRJ, Grupo de Realidade Virtual Aplicada – GRVA/LAMCE/COPPE/UFRJ. 2011.

WESTINGHOUSE, **The westinghouse pressurized water reactor nuclear power plant, Westinghouse**. Electric Corporation, Water Reactor Divisions, 1984.

WORDPRESS. **Página de guia de instalação e pré-requisitos de sistema**. Disponível em: <https://wordpress.org/about/requirements/>. Acesso em 22/05/2017.

YAO H., LIU Z., HAN. **Application Expectation of Virtual Reality in Basketball Teaching**. International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE). 2012

ZUFFO, M.; RODRIGUES, F.; CABRAL, M.; BELLOC, O.; Ferraz, R. **Sistema de realidade virtual para simulador de passadiço**. 2012.